



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPRAVY FILTRAČNÍCH ČÁSTÍ IONEXOVÝCH FILTRŮ NA JE

REPAIRS OF LATTICE PARTS OF ION FILTERS AT NPP

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN KLOBOUČNÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Kloboučník

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Opravy filtračních částí ionexových filtrů na JE

v anglickém jazyce:

Repairs of lattice parts of ion filters at NPP

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika svařování v oblasti energetických a chemických zařízení je vždy velmi náročná. Většinou se jedná o složité svařence s náročnými tvarovými konstrukcemi. Cílem práce je navrhnout postup při opravách ionexových filtrů na jaderných elektrárnách.

Cíle diplomové práce:

- 1) Popis zařízení.
- 2) Literární studie - rozbor vhodných metod svařování.
- 3) Návrh vhodné technologie svařování filtračních plechů.
- 4) Návrh technologického postupu oprav filtračních křížů ionexových filtrů.
- 5) Ekonomická analýza výroby náhradních a nových dílů.
- 6) Závěr.

Seznam odborné literatury:

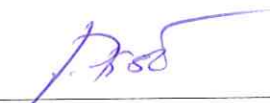
1. DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 20.11.2012




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na přípravu oprav ionexových filtrů na čistících stanicích provozních vod v jaderných elektrárnách. Krátce popisuje čistící stanice vod primárního a sekundárního okruhu, ve kterých jsou zařazeny ionexové filtry a lapače ionexů. V práci je uveden přehled vhodných metod svařování tenkých filtračních plechů z austenitických materiálů k sběrné trubce, včetně vhodné technologie výroby úzkých štěrbin v tomto plechu. Cílem práce je navrhnout vhodné provedení oprav a výrobu náhradních dílů pro různé stupně poškození vnitřní vestavby filtrů. Součástí je i ověření jakosti svarových spojů na zkušební vzorku s výsledky provedených zkoušek, jejich vyhodnocení a ekonomické hodnocení oprav ionexových filtrů.

Klíčová slova

Čistící stanice, ionexový filtr, lapač ionexů, filtrační plech, laser, laserové svařování, austenitická ocel.

ABSTRACT

The thesis focuses on repair preparation of Ion Filters at nuclear power plants cleaning units. The thesis shortly describes cleaning units of primary and secondary circuit where Ion Filters and Ion Catchers are implemented. The thesis introduces summary of convenient method for welding of thin filtration plates from austenitic materials to collecting pipe including convenient technology for fabrication of narrow loop holes in filtration plates. The aim of thesis is to propose convenient execution of repair and manufacturing of spare parts after different kind of damage of filter internals. Part of the thesis is welded joints quality verification on the testing sample including result of provided test, its evaluation and Ion Filters repair economical evaluation as well.

Key words

Cleaning unit, Ion Filter, Ion Catcher, filtration plate, laser, laser welding, austenitic steel.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KLOBOUČNÍK, Martin. *Opravy filtračních částí ionexových filtrů na JE*. Brno, 2013. 58s, 1 příloha, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Opravy filtračních částí ionexových filtrů na JE vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 16. května 2013

.....
Bc. Martin Kloboučník

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi, vedoucímu diplomové práce, za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Rovněž děkuji pracovníkům firmy Tediko s.r.o. za odbornou pomoc při provádění kontrol a zkoušek včetně metalografického hodnocení.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

ÚVOD	10
1. TECHNICKÁ CHARAKTERISTIKA	11
1.1 ČIŠTĚNÍ VOD PRIMÁRNÍHO OKRUHU	11
1.1.1 <i>Systém čištění organizovaných úniků a drenáží vod primárního okruhu</i>	12
1.1.2 <i>Systém čištění odpadních vod</i>	13
1.1.3 <i>Systém čištění vody bazénu</i>	14
1.1.4 <i>Čistící stanice odluhu parogenerátoru</i>	15
1.2 KONSTRUKCE VNITŘNÍ VESTAVBY IONEXOVÝCH FILTRŮ	16
1.3 ZJIŠTĚNÉ ZÁVADY	18
2. SVAŘOVÁNÍ A ŘEZÁNÍ MATERIÁLŮ	20
2.1 LASER	20
2.1.1 <i>Princip a rozdělení laseru</i>	21
2.1.2 <i>Pevnolátkový laser</i>	23
2.2 SVAŘOVÁNÍ LASEREM	23
2.2.1 <i>Automatizace laserového svařování</i>	26
2.3 ŘEZÁNÍ LASEREM	26
2.3.1 <i>Řezání kombinací vodního paprsku s laserem</i>	28
2.4 PLAZMA	30
2.4.1 <i>Mikroplazmové svařování</i>	30
2.5 SVAŘOVÁNÍ AUSTENITICKÝCH OCELÍ	31
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - NÁVRH OPRAV	33
3.1 VSTUPNÍ PODMÍNKY A POŽADAVKY	33
3.2 OPRAVA POMOCÍ TĚSNÍČÍHO TRMENU	34
3.3 OPRAVA POMOCÍ NOVÉHO TUBUSU	35
3.4 VÝMĚNA CELÉ VESTAVBY	36
4. VÝROBA NÁHRADNÍCH DÍLŮ	38
4.1 SPECIÁLNÍ TRMEN DN50	38
4.2 VÝROBA TUBUSU	39
4.2.1 <i>Řezání štěrbin šířky 0,25 mm</i>	39
4.2.2 <i>Řezání štěrbin šířky 0,1 mm</i>	39
4.2.3 <i>Svařování tubusu</i>	40
5. PROVEDENÉ ZKOUŠKY A KONTROLY	44
5.1 VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ	44
5.2 RADIOGRAFICKÉ ZKOUŠENÍ	47
5.3 ZKOUŠKA KAPILÁRNÍ METODOU	47
5.4 ZKOUŠKA TAHEM	48
5.5 CHEMICKÁ ANALÝZA	49
5.6 METALOGRAFICKÉ HODNOCENÍ	50
5.7 ZKOUŠKA ODOLNOSTI PROTI MEZIKRYSTALOVÉ KOROZI	55
5.8 VÝSLEDKY PROVEDENÝCH KONTROL A ZKOUŠEK	56
6. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	57
ZÁVĚR	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	
SEZNAM OBRÁZKŮ	
SEZNAM TABULEK	
SEZNAM PŘÍLOH	

ÚVOD

Jaderné elektrárny v současné době představují levný zdroj pro výrobu elektrické energie. Při jejich provozu, stejně jako při provozu elektráren klasických spalujících fosilní paliva, vznikají odpady a různé škodliviny. Zatímco u klasických elektráren jsou tyto odpady vyváženy na skládky nebo vypouštěny do ovzduší, musí být veškeré odpady v jaderných elektrárnách vyčištěny a uloženy takovým způsobem, aby ani v budoucnu nepředstavovaly žádné nebezpečí pro životní prostředí a své okolí. Pro tyto účely je v jaderných elektrárnách provozováno několik pomocných systémů, jejichž úkolem je shromažďování a čištění vod primárního okruhu tak, aby tato média mohla být vrácena zpět do primárního okruhu, nebo jako naprosto čistá vypuštěna do vodotečí v okolí elektrárny.

Tak jako všechna technická zařízení, tak i zařízení jaderných elektráren podléhají opotřebení a mohou vznikat různá poškození, která kdyby nebyla včas opravena, mohou být příčinou závažných poruch zařízení. Opravy na těchto zařízeních probíhají často i v prostředí ionizačního záření, proto z důvodu ochrany pracovníků je nutné mít provedení oprav důkladně připraveno.

Cílem diplomové práce je příprava a provedení oprav na ionexových filtrech a lapačích ionexových částic čistících linek. Je řešena výroba náhradních dílů v jakosti předepsané pro použití v jaderných elektrárnách. Součástí diplomové práce je i vyřešení výroby filtračních částí ionexových filtrů a výroba nových filtračních svíci lapačů ionexů.



Obr. 1: Jaderná elektrárna Dukovany [19]

1. TECHNICKÁ CHARAKTERISTIKA [2]

V jaderné elektrárně s tlakovodním reaktorem VVER 440 jsou provozovány dva hlavní okruhy:

- Primární okruh.
- Sekundární okruh.

Primární okruh – tvoří reaktor, parogenerátory, hlavní cirkulační čerpadla. Primární okruh slouží k výrobě suché, nasycené páry.

V sekundárním okruhu je tato vyrobená pára využita k pohonu turbíny a generátorů pro výrobu elektrické energie.

Aktivní zóna reaktoru je tvořena palivovými kazetami, které obsahují palivo, izotop uranu U_{235} , ve formě keramických tablet. Po vniknutí neutronu do jádra atomu uranu dochází ke štěpení jádra uranu. Řízení štěpné reakce se provádí pomocí regulačních kazet a změnou koncentrace kyseliny borité H_3BO_3 v chladivu primárního okruhu. Při této štěpné reakci je uvolňováno velké množství energie, která je jako tepelná předávána do chladicího media. U tlakovodního reaktoru je chladicím médiem obyčejná, chemicky upravená voda. Chladivo primárního okruhu je při průchodu zařízením primárního okruhu znečišťováno různými chemickými příměsemi:

- Při průchodu aktivní zónou reaktoru může dojít, v důsledku možných netěsností pokrytí palivových kazet, ke znečištění štěpnými produkty paliva.
- Při průchodu ostatními zařízeními primárního okruhu (čerpadla, výměníky, armatury, potrubní trasy) je chladivo znečišťováno korozními produkty různých konstrukčních materiálů.
- Chladivo obsahuje kyselinu boritou H_3BO_3 v koncentraci, která odpovídá danému provoznímu cyklu paliva.
- Při průchodu chladiva čerpadly, armaturami, dochází z důvodu konstrukce těchto zařízení k netěsnostem a únikům chladiva. Tyto úniky jsou vedeny do sběrných tras.
- Při provozu může docházet i k dalším netěsnostem a únikům chladiva primárního okruhu, úniky jsou vedeny do speciální kanalizace.

Z důvodů zachování čistoty chladiva primárního okruhu, postupného snižování obsahu kyseliny borité v souladu s provozním cyklem paliva, snižování ztrát chladiva, ekonomických (nové využití v primárním okruhu) a ekologických (možnost vypouštění těchto vod do životního prostředí) je nutno zajistit kontinuální čištění chladicí vody primárního okruhu.

1.1 ČIŠTĚNÍ VOD PRIMÁRNÍHO OKRUHU

V režimu nominálního provozu jaderné elektrárny by z výše uvedených důvodů docházelo postupným znečišťováním chladiva ke snižování účinnosti chlazení aktivní zóny a vlivem konstrukčních netěsností ke snižování množství chladicího media v primárním okruhu.

Na začátku provozního cyklu je v chladivu primárního okruhu vysoká koncentrace kyseliny borité, která je pak v průběhu cyklu snižována tak, aby bylo možno udržet požadovaný výkon reaktoru. Na konci cyklu je koncentrace kyseliny borité prakticky nulová.

V režimu odstavení reaktoru a celého primárního okruhu pro účely revizí, kontrol, údržby zařízení a pro zajištění výměny paliva je nutno celý primární okruh vydrenážovat a veškeré chladivo přečerpat do připravených nádrží.

Při výrobě páry dochází v parogenerátorech k průběžnému zahušťování vody. Pro zajištění optimálních podmínek je nutno parogenerátory kontinuálně i periodicky odluhovat a odkalovat. Jedná se o množství v řádech desítek m^3/hod .

Pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu reaktorového bloku ve všech nominálních i nenominálních režimech, pro zajištění ekonomického provozu elektrárny a pro

zajištění čistoty vypouštěných vod do okolních vodotečí a nádrží, je nutno veškeré vody primárního okruhu kontinuálně čistit. Po vyčištění je možné jejich nové použití v primárním okruhu jako vyhovující chladivo nebo vypuštění do životního prostředí. Není-li možné jejich dokonalé vyčištění, zmenší se jejich objem pro uložení na úložišti radioaktivních odpadů jako nízkoaktivní odpad.

Z tohoto důvodu je na jaderné elektrárně provozováno na každém bloku několik pomocných systémů primární části, jejichž úkolem je shromažďovat a čistit vody primárního okruhu. V této práci jsou pak uvedeny pouze systémy, jejichž součástí jsou ionexové filtry a lapače ionexů, které jsou předmětem navrhovaných technických opatření, případně oprav. Jedná se o:

- Systém čištění organizovaných úniků a drenáží vod primárního okruhu.
- Systém čištění odpadních vod.
- Systém čištění vody bazénu.
- Čistící stanice odluhu parogenerátorů.

1.1.1 SYSTÉM ČIŠTĚNÍ ORGANIZOVANÝCH ÚNIKŮ A DRENÁŽÍ VOD PRIMÁRNÍHO OKRUHU

Systém čištění organizovaných úniků a drenážních vod primárního okruhu, včetně jejich shromažďování, je začleněn do pomocných systémů primární části. Je rozdělen do dvou podsystémů.

Jeden podsystém, určený pro jeden reaktorový blok, čistí chladivo drenážované z primárního okruhu a vody z nádrží nečistého kondenzátu od chemických příměsí, korozních produktů konstrukčních materiálů zařízení a potrubních tras, štěpných produktů paliva a je určen ke snižování koncentrace kyseliny borité v chladivu primárního okruhu na konci kampaně.

Jedním ze základních nominálních režimů tohoto podsystému je čištění chladiva při drenážování primárního okruhu. V tomto režimu postupuje chladivo trasou na katexový filtr, který je provozován v H^+ cyklu. Na tomto filtru jsou na principu iontové výměny zachyceny mechanické produkty koroze, štěpné produkty a chemické nečistoty v iontové formě. Jedná se o kationty K^+ , NH^+ , Cs^+ , Ca^+ , Na^+ . Chladivo pak dále postupuje na anexový filtr, který je provozován v BO_3^{3-} cyklu. Na tomto anexovém filtru jsou zachycovány radiochemické nečistoty aniontového charakteru, především Cl^- . Přes lapač ionexových částic, kde jsou zachycovány fragmenty uniklých ionexů z filtrů tak, aby se nedostaly zpět do primárního okruhu, je chladivo čerpáno do skladovacích nádrží nečistého kondenzátu.

Dalším nominálním režimem podsystému je snižování koncentrace kyseliny borité na konci kampaně, kdy další snižování koncentrace vodovými výměnou je již neefektivní. Koncentrace kyseliny borité H_3BO_3 je v této fázi kampaně menší než 0,5 g/kg.

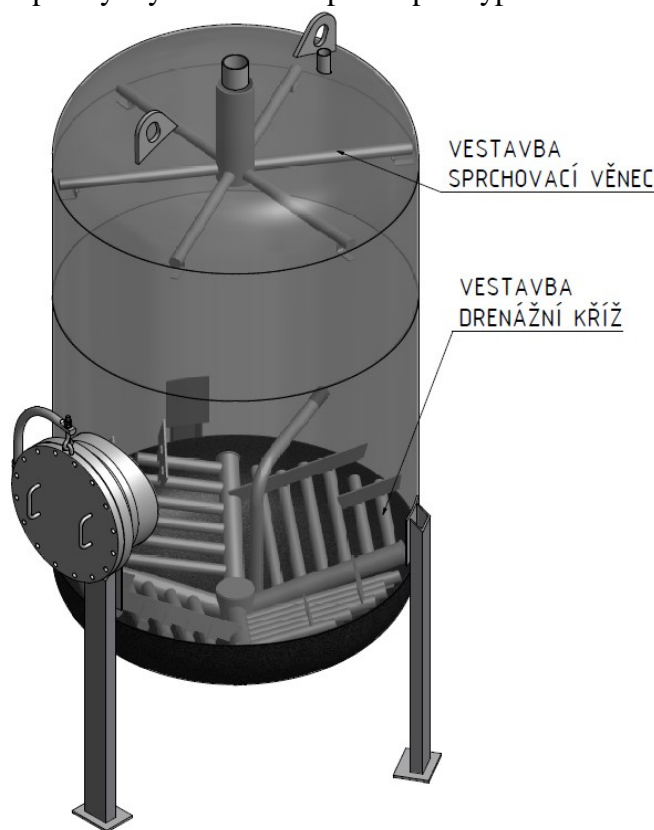
Druhý podsystém slouží ke shromažďování, skladování a přečerpávání nečistého kondenzátu pro uzel odparek, za účelem zmenšení objemu, dále pro získávání zregenerovaného roztoku kyseliny borité a jeho další použití v zařízeních primárního okruhu. Tento podsystém je společný pro dva reaktorové bloky.

Systém čištění organizovaných úniků a drenážních vod primárního okruhu tvoří celkem pět filtrů:

- Jeden katexový filtr s náplní silně kyselého katexu jaderné třídy v H^+ formě.
- Tři anexové filtry s náplní silně zásaditého anexu jaderné třídy v OH^- formě.
- Jeden lapač ionexů.

Ionexové filtry tohoto systému jsou svislé válcové nádoby $\varnothing 1500\text{mm}$ a výšky 3400 mm (obr. 2). Na tlakové nádobě jsou nátrubky pro přívod a odvod media a otvor pro zavážení a vyvážení ionexové náplně. Boční strana je opatřena průřezem $\varnothing 500\text{ mm}$ s otvorem pro

odběry vzorků. Ve spodní části je umístěn drenážní kříž se štěrbínovými plechy, který slouží k zajištění rovnoměrné promývky ionexové náplně a pro kypření ionexové náplně.



Obr. 2: Ionexový filtr Ø1500 se zobrazenou vestavbou

Lapač ionexových částí je svislá válcová nádoba o Ø450 mm a výšce 1805 mm. Uvnitř je umístěno 13 filtračních svící k zachycení drobných úlomků ionexů tak, aby nedošlo k jejich průniku do dalších systémů primárního okruhu.

1.1.2 SYSTÉM ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Systém čištění odpadních vod slouží ke shromažďování a následnému zpracování všech odpadních vod z hlavního výrobního bloku a z budovy aktivních pomocných provozů, dále pak vod s obsahem kyseliny borité a vod nádrží nečistého kondenzátu. Cílem je jejich separace a vyčištění od mechanických, chemických a radiochemických nečistot. Po vyčištění mohou být tyto vody znovu použity pro potřebu primárního okruhu, nebo je možné bezpečné vypuštění do venkovní kanalizace a okolních vodotečí. Nepoužitelné radioaktivní zbytky jsou po zmenšení jejich objemu uloženy v úložišti kapalných radioaktivních odpadů. Systém čištění odpadních vod je společný pro dva reaktorové bloky. Celý systém je rozdělen do podsystemů, které dle potřeby mohou pracovat buď společně, nebo každý podsystem pracuje zvlášť.

- Podsystem sběrných nádrží – je určen pro sběr, skladování a dopravu odpadních vod na odparky pro další zpracování.
- Podsystem odparek – je určen pro zpracování odpadních vod a nečistého kondenzátu před dalším použitím v primárním okruhu, nebo před uložením v úložišti kapalných radioaktivních odpadů.
- Podsystem stanic ionexových filtrů a skladovacích nádrží.

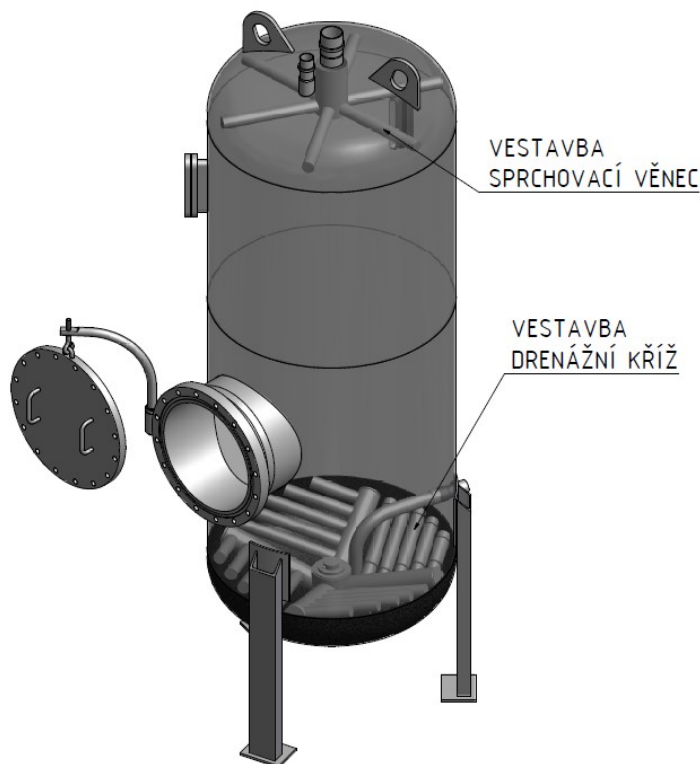
V podsystemu čisticí stanice odpadních vod jsou zařazeny:

- Dva mechanické filtry.
- Chladiče odplyněné vody.

- Jeden katexový filtr – náplň silně kyselé katex v H^+ formě.
- Jeden anexový filtr – náplň silně zásaditý anex v OH^- formě.
- Dva lapače ionexových částí.

V této čistící stanici je zařazen katexový filtr Ø1000 mm a výšky 2740 mm. Katexový filtr slouží k zachytu nečistot v kationtové formě, které jsou obsaženy v odplyněném destilátu z odparky. Jedná se o nečistoty K^+ , Na^+ , NH_4^+ , a Cs^+ .

Anexový filtr je také stojatá tlaková nádoba Ø1000 mm a výšky 2740 mm (obr. 3). Anexový filtr je určen k zachytu nečistot v aniontové formě obsažených v odplyněném destilátu z odparky. Jedná se např. o Cl^- a BO_3^{3-} .



Obr. 3: Ionexový filtr Ø1000 se zobrazenou vestavbou

Lapač ionexů je svislá nádoba Ø219 mm a délky 1670 mm. Uvnitř jsou tři filtrační svíce, jejichž úkolem je zachytit ionexovou náplň v případě porušení štěrbinového systému filtrů a k zachycení úlomků ionexů.

1.1.3 SYSTÉM ČIŠTĚNÍ VODY BAZÉNU

Systém čištění vody bazénu obsahuje dvě samostatné pracovní linie. Každá linie pracuje samostatně, ale v případě potřeby je možno linie zaměnit.

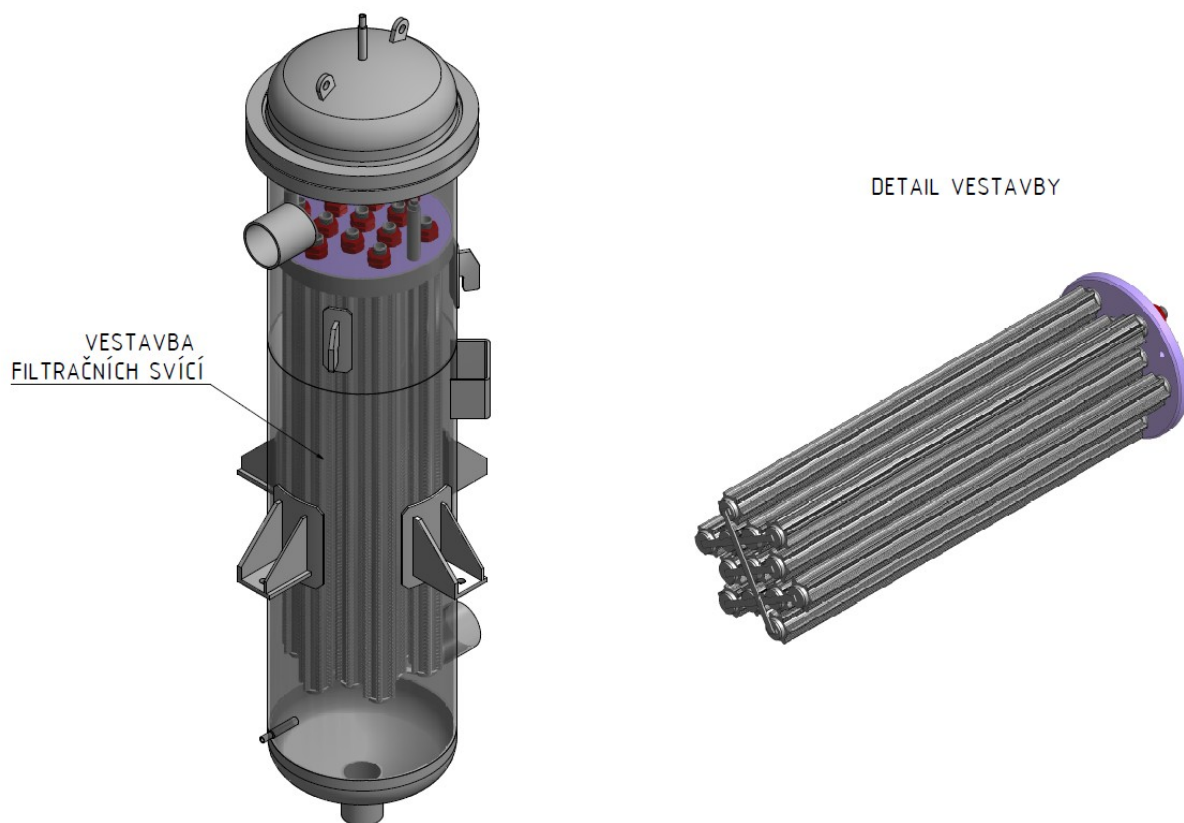
- První linie slouží k čištění vod bazénu vyhořelého paliva.
- Druhá linie je určena k čištění media z nádrží havarijní zásoby roztoku kyseliny borité H_3BO_3 . Dále slouží k čištění vod ze systému havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru a k čištění náplní barbotážních žlabů.

Systém čištění vody bazénu pracuje periodicky, čistí cirkulující roztok kyseliny borité tak dlouho, dokud složení roztoků kyseliny borité v bazénech vyhořelého paliva, v nádržích havarijních systémů nebo roztoků v barbotážních žlabech nemá požadované složení.

Systém čištění vody bazénu obsahuje v každé linii:

- Dva mechanické filtry.
- Dva katexové filtry - náplň filtrů je silně kyselý katex jaderné kvality v H^+ formě.
- Dva anexové filtry - náplň silně zásaditý anex jaderné kvality v OH^- , nebo BO_3^{3-} formě.
- Jeden lapač ionexových částic.

Katexové i anexové filtry této čistící stanice jsou stojaté tlakové nádoby $\varnothing 1500$ mm a výšky 3400 mm. Konstrukce vnitřní vestavby je shodná s filtry ostatních čistících stanic. Lapač ionexových částí je válcová nádoba $\varnothing 450$ mm a výšky 1800 mm. Uvnitř nádoby je 13 filtračních svící (obr. 4).



Obr. 4: Lapač ionexu $\varnothing 450$

1.1.4 ČISTÍCÍ STANICE ODLUHU PAROGENERÁTORU

Čistící stanice slouží k přečištění media, které je odpouštěno jak kontinuálně, tak i periodicky z odluhu i odkalu parogenerátorů. Čistící stanice odluhu parogenerátorů se skládá ze tří filtračních linek. První a třetí filtrační linka zajišťuje čištění odluhu a odkalu parogenerátorů prvního a druhého reaktorového bloku. Druhá linka slouží jako záloha pro obě linky. Čistící stanice odluhu parogenerátorů má tedy 50% zálohu.

Vody odluhu a odkalu parogenerátorů mají při vypouštění velmi vysokou teplotu. V případě přímého vpuštění do filtračních linek by došlo ke zničení ionexových náplní, proto jsou vody odluhu a odkalu před vstupem do filtračních linek ochlazeny na teplotu nižší než $50^{\circ}C$. Po vyčištění jsou odkaly a odluky vráceny do sběrné nádrže kondenzátu a odtud zpět do technologického procesu. Pokud odluh parogenerátorů má vyhovující chemický režim a neobsahuje žádnou aktivitu, nejsou vody odluhu vedeny přes filtrační linky, ale jsou



Ionexový filtr Ø1500 mm

[illegible]

17

Pomocné systémy ionexových filtrů

Náplně ionexových filtrů je nutno pravidelně, na základě odebraných vzorků a jejich chemické analýzy, udržovat na co nejvyšší účinnosti. Všechny náplně se musí dle potřeby regenerovat, prát, kypřit a při zjištění úplného vyčerpání vyvézt a filtr naplnit novou náplní. Z tohoto důvodu je každý filtr připojen na pomocné systémy.

Pro regeneraci náplní je ke katexovým filtrům přiveden 5% roztok HNO_3 , k anexovým filtrům 5% roztok NaOH nebo KOH . Pro kypření ionexových náplní je k filtrům přiveden tlakový vzduch a protiproudem tohoto vzduchu je pravidelně prováděno kypření náplní. Praní náplní je prováděno protiproudem vody vlastní spotřeby. Voda vlastní spotřeby slouží i k vyplavování nasycených náplní k jejich dalšímu zpracování před uložením na úložišti radioaktivních odpadů. Nová ionexová náplň je do filtrů zavážena přes zavážecí otvor pomocí zavážecího zařízení.

1.3 ZJIŠTĚNÉ ZÁVADY

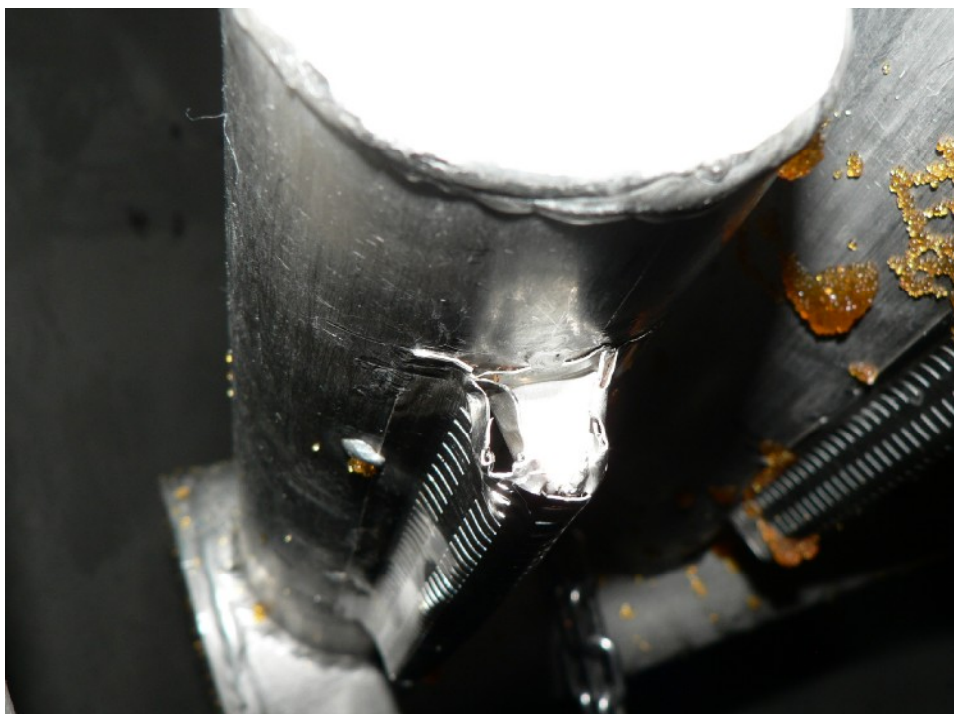
Za provozu čistících stanic je kontrola funkce ionexových filtrů omezená pouze na sledování tlakových ztrát, kontrolu průzračnosti media za filtračním zařízením a provedení chemických rozborů media. Současně je sledována činnost lapače ionexových částic s ohledem na množství zachyceného ionexu, měřením tlaku na vstupu do lapače a na výstupu z lapače. Při indikaci většího množství zachyceného ionexu je možno u ionexových filtrů Ø1000 mm demontovat vnitřní vestavbu a přes vstupní otvor provést vizuální kontrolu filtračních šterbinových plechů. U ionexových filtrů Ø1500 mm je vizuální kontrola provedena pomocí zrcátka, endoskopu nebo kamery. Za dobu provozu elektrárny byla závada v těsnosti ionexového filtru zjištěna pouze u jednoho kusu ionexového filtru Ø1000 mm. Po odsátí ionexové náplně, vyčištění vnitřní vestavby a vysunutí do úrovně průlezu byla provedena vizuální kontrola stavu filtračního kříže. Touto kontrolou byly zjištěny závady, které jsou dokumentovány na následujícím obrázku (obr. 8).



Obr. 8: Skutečný stav odstaveného filtru Ø1000

Z obrázků je zřejmé, že zjištěné závady nejsou způsobeny provozními režimy, ale mají počátek při montáži ionexových filtrů v období výstavby jaderné elektrárny. Na obr. 8 je patrný i způsob výroby, respektive způsob přivaření štěrbinového plechu. Filtrační plechy v době výroby byly přivařovány ke sběrné trubce ručně stehy v délce cca 30 mm vzdálenými od sebe cca 50 mm, kdy mezera mezi filtračním plechem a sběrnou trubicí mohla být max. 0,4 mm. Při montáži byly některé části filtračního plechu pravděpodobně narušeny takovým způsobem, který znemožňoval použití filtru v provozu. Poškození filtračního plechu bylo opraveno přeplátováním novým plechem a těsnost sběrné trubky zajištěna pomocí dotlačovacích třmenů. Velká nevýhoda takto navržených a použitých třmenů je ve zmenšení činné plochy filtračního plechu.

Na obr. 9 je zdokumentována vada, která mohla vzniknout manipulací s filtračním křížem při jeho vyzdvížení do úrovně průlezu. Zde, v důsledku mechanického prohnutí štěrbinového plechu, došlo k deformaci plechu v oblasti krycího víčka. Tato závada by vedla ke zvýšenému úniku ionexové náplně. Tento filtr Ø1000 je jako jediný, ze všech instalovaných filtrů na JE, z důvodů zjištěných závad odstaven z provozu.



Obr. 9: Skutečný stav odstaveného filtru Ø1000

2. SVAŘOVÁNÍ A ŘEZÁNÍ MATERIÁLŮ

Z hlediska svařování tenkého filtračního plechu byly zvažovány dvě možné varianty přivaření plechu tl. 0,4 mm k trubce Ø60x2mm, které jsou v této kapitole popsány. Jednou z těchto variant je svařování laserem a druhou možností je svařování mikroplasmou. Dále je zde popsána vhodná technologie výroby úzkých štěrbin ve filtračním plechu pomocí laseru a laseru v kombinaci s vodním paprskem. Jelikož se jedná o svařování materiálu austenitického charakteru je uvedena problematika při svařování tohoto materiálu.

2.1 LASER [3,4]

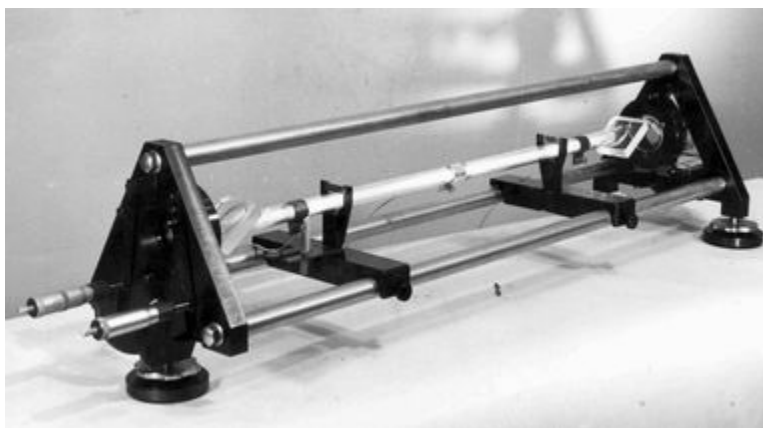
Laser je jedním z největších vynálezů dvacátého století a již za padesát let od jeho vzniku se stal nedílnou součástí našeho moderního života.

Již v roce 1917 Albert Einstein objasnil ve své práci “Emise a absorpce světla podle kvantové teorie” jako první vznik stimulované tak i spontánní emise, která představuje základní princip kvantové mechaniky. Einstein dokázal, že atomy vyzařují světlo nejen spontánně, ale i vynuceným způsobem (stimulovaně) pod vlivem záření atomů, pokud toto záření zastihne už excitovaný, vybuzený atom, připravený vyzářit.

V roce 1955 byl vytvořený první principiálně nový zdroj koherentního mikrovlnného záření tzv. MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), jehož autoři ruští fyzici N. G. Basov, A. M. Prochorov a americký fyzik Ch. Townes byli oceněni Nobelovou cenou. V roce 1960 se podařilo americkému fyziku T. Maimanovi sestavit první optický laser. Slovo LASER je zkratka počátečních anglických písmen (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), což by se dalo přeložit jako zesílení světla pomocí stimulované emise záření. Úspěch T. Maimana odstartoval lavinu výzkumů a vývoje na nejrůznějších typech laserů, které v podstatě pokračují až do současnosti.

Neopomenul bych výzkum, který byl prováděn v bývalém Československu. V Brně ve fyzikálním ústavu ČSAV v roce 1962 byl sestaven první československý čpavkový laser (obr. 10). V následujících letech vznikly další lasery např. s neodýmovým sklem nebo také rubínový a polovodičový.

Laser od svého vzniku prošel obrovským vývojem ať už jde o nové typy laserů, nebo o jeho uplatnění v celé řadě odvětví. V dnešní době využíváme laserový přístroj v průmyslu, medicíně, chemii, metrologii, ve vojenské technice a v mnoho dalších.

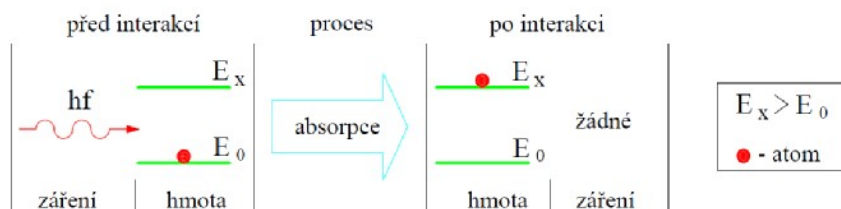


Obr. 10: První československý plynový laser [23]

2.1.1 PRINCIP A ROZDĚLENÍ LASERU [3,4,5]

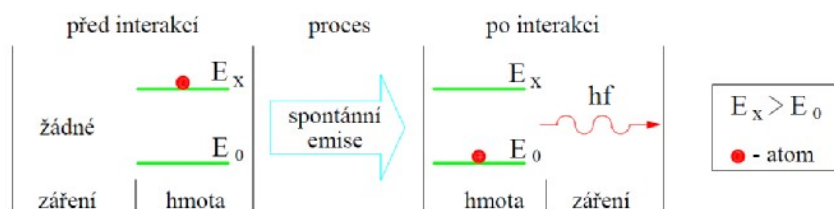
Jak vyplývá z překladu slova laser (zesílení světla stimulovanou emisí záření) je klíčem k činnosti laseru stimulovaná emise. Je to jedna z možností, jak se může izolovaný atom dostat ze stavu E_0 (základní stav) s nižší energií do stavu E_x s vyšší energií. Absorbce a spontánní emise jsou další možné způsoby přenosu atomu.

Absorbce (obr.11)- atom absorbuje foton o energii hf od okolní světelné vlny a tím se dostane do vyššího energetického stavu.



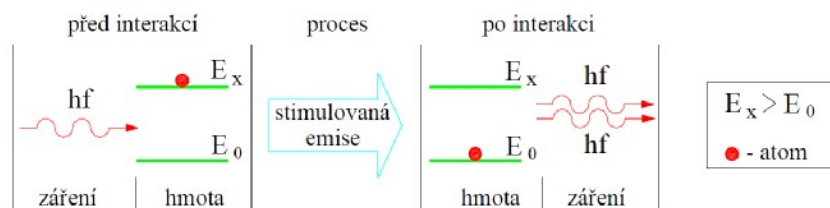
Obr. 11: Interakce záření s atomem v procesu absorpce [5]

Spontánní emise (obr.12)- atom v excitovaném stavu přejde samovolně do základního stavu a zároveň emituje světelnou vlnu o energii hf . Proces probíhá bez působení vnějších vlivů.



Obr. 12: Interakce záření s atomem v procesu spontánní emise [5]

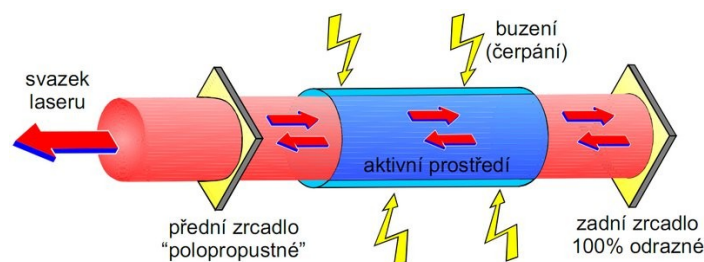
Stimulovaná emise (obr.13)- atom v excitovaném stavu emituje foton o stejné energii z procházející vlny, jejíž foton má energii hf a tím zvyšuje energii světelné vlny. Proces je spuštěn vnějším fotonem. Emitovaný foton je stejný jako stimulující foton. Vlna spojená s tímto fotonem má stejnou energii, fázi a směr šíření. Pro vytvoření laserového světla musí být více fotonů emitováno než absorbováno => musí převažovat stimulovaná emise, proto musíme začít s více atomy v excitovaném stavu.



Obr. 13: Interakce záření s atomem v procesu stimulované emise [5]

V dnešní době existuje celá řada typů různých laserových zařízení, každý se však skládá ze tří základních prvků (obr. 14)

- *Čerpaní energie* – buzením (nejčastěji elektrickým výbojem, opticky) přivádíme do laseru energii, která je pomocí stimulované emise vyzářena v podobě laserového paprsku.
- *Aktivního prostředí*
- *Optického rezonátoru* – soustava zrcadel sloužící k akumulaci energie a jako frekvenční filtr.



Obr. 14: Obecné schéma laseru [18]

Další součástí laserového zařízení jsou systém vedení svazku, systém chlazení zařízení a systém pro řízení.

I když je základní princip stejný a jedná se v podstatě o optický zesilovač, je možno lasery dělit podle několika hledisek [4]:

- 1) *podle typu aktivního prostředí*
 - plynové,
 - kapalinové,
 - pevnolátkové (polovodičové, diskové, vláknové a tyčové),
 - diodové,
- 2) *podle druhu energie použité na buzení aktivního materiálu*
 - optické,
 - elektrické,
 - chemické,
- 3) *podle režimu práce*
 - kontinuální,
 - impulzní,
- 4) *podle vlnové délky*
 - infračervené,
 - ultrafialové,
 - rentgenové,
 - lasery viditelného pásma.

Laserový paprsek má charakteristické vlastnosti, pro které je unikátní. Mezi tyto vlastnosti patří:

- Energetická vlastnost – výstupní výkon.
- Monochromaticnost – schopnost laseru zářit v úzkém rozmezí vlnových délek.
- Koherentnost – laserové záření má velkou časovou i prostorovou koherenci, částice mají stejnou fázi v obou rovinách.
- Směrovost – paprsek se vyznačuje nízkou rozbíhavostí. Divergence laserového paprsku je dána výrazem

$$\Theta = \frac{4 \cdot l}{p \cdot d_0} \quad []$$

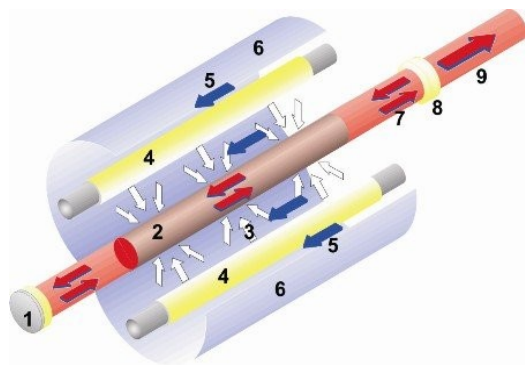
kde: λ - vlnová délka záření [mm]

d_0 - průměr paprsku na výstupu z rezonátoru [mm]

- Módová struktura – módy dělíme na pravoúhlé a válcové, řád módu má největší vliv na výstupní kvalitu paprsku. Pro technologické aplikace je nejčastěji používán mód TEM₀₀ s Gaussovým rozložením energie v paprsku. Tento mód je nejlépe fokusovatelný do malého průměru.

2.1.2 PEVNOLÁTKOVÝ LASER [16,17]

Typickým představitelem pevnolátkového laseru je Nd-YAG laser (obr. 15), kde aktivní prostředí tvoří monokrystal ytřium aluminium granátu dopovaného atomy neodymu (Nd-YAG krystal). Krystal Nd-YAG začíná generovat při relativně nízkém budícím výkonu. Lasery této konstrukce mohou pracovat jak v pulzním, tak kontinuálním režimu (v rozsahu 0,1 W až několik set W) s výstupním paprskem o vlnové délce 1,06 μm . Při nabuzení plynovými výbojovými lampami má elektrickou účinnost pod 5%.



- 1- zadní zrcadlo
- 2- Nd:YAG krystal
- 3- optické buzení
- 4- výbojka (lampa)
- 5- chladicí kapalina
- 6- keramický reflektor
- 7- stimulovaná emise
- 8- výstupní zrcadlo
- 9- svazek laseru

Obr. 15: Nd:YAG aktivní prostředí [11]

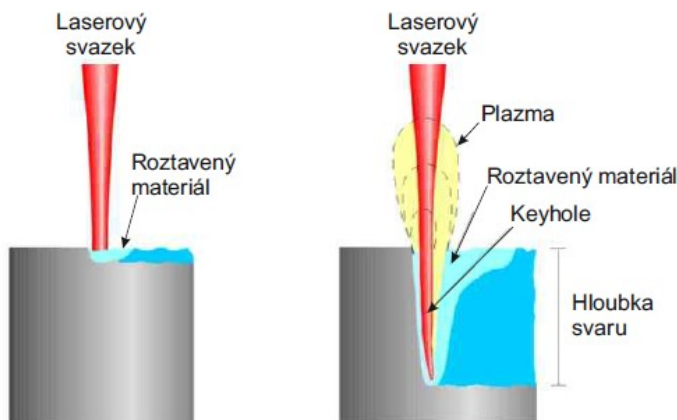
Zdrojem optického buzení jsou dle typu laseru kryptonové, zábleskové nebo obloukové lampy. Výhodou tohoto typu aktivního prostředí je vysoká mechanická pevnost, malé optické ztráty, dobrá tepelná stálost a vysoká energie v pulzu. Nevýhodou tohoto typu je nízká účinnost, nutnost kvalitního chlazení, krátká životnost výbojek, těžkosti při růstu kvalitních monokrystalů a tudíž vysoké provozní náklady. Nd-YAG lasery se nejčastěji používají ke svařování, řezání, bodovému svařování malých konstrukcí a značkování elektronických komponent.

2.2 SVAŘOVÁNÍ LASEREM [3,6,7]

Kvalita svaru provedeného laserovým svařováním je ovlivněna několika procesy. Mezi tyto procesy patří absorpce záření, ohřev, tavení materiálu, vznik paroplynového kanálu a plazmy.

Svařování můžeme provádět dvěma základními principy (obr. 16):

- 1) Kondukční - hustota výkonu 10^6 Wcm^{-2} .
- 2) Penetrační (key hole) - hustota výkonu 10^8 Wcm^{-2} .



Obr. 16: Kondukční svařování (vlevo) a penetrační svařování (vpravo) [12]

Při svařování kondukčním způsobem dochází pouze k ohřevu tenké povrchové vrstvy materiálu a tento způsob je využíván pro svařování materiálů menších tloušťek do 1 mm. Po dopadu laserového paprsku se neodražená část absorbuje a kondukčně vytváří na povrchu materiálu taveninu. Tavenina postupuje do hloubky až do okamžiku, kdy se vyrovná množství tepla přivedené z taveniny s množstvím tepla odvedeným nenataveným materiálem. Přestane-li laserový paprsek působit, tavenina chladne na svarový kov. Hloubka natavené oblasti při tomto způsobu zpravidla nepřesahuje šířku natavené oblasti.

Pro svařování materiálů větších tloušťek se používá penetrační princip svařování. Při tomto způsobu svařování se vytváří vlivem vysoké hustoty paprsku paroplynový kanál s obsahem plynů odpařovaného materiálu. Tlak plynů vystupujících z kanálu pak brání jeho uzavření. Při tvorbě paroplynového kanálu se nad povrchem udržuje oblak plynu, který je tvořen převážně produkty vypařování. Laserový paprsek způsobuje ionizaci tohoto oblaku, následkem čehož vzniká plazma. Podle barvy plazmy lze usuzovat na vznik paroplynového kanálu. Tento plynový oblak však brání průchodu paprsku na povrch materiálu. Průzračnost plazmy můžeme ovlivnit použitím ochranného plynu s vysokým koeficientem ionizace.

Jako ochranné plyny můžeme používat:

- Hélium (He) – ideální plyn, který vytváří souvislý a malý oblak plazmy těsně nad povrchem. Má vysoký potenciál ionizace. Je jednoatomový inertní plyn, bez barvy a zápachu. Je velmi lehký, což snižuje efektivitu ochrany a zvyšuje množství použitého plynu.
- Argon (Ar) – je jednoatomový inertní plyn bezbarvý, bez chuti a zápachu. Má nízký ionizační potenciál a malou tepelnou vodivost. Je těžší než vzduch a tudíž plynová ochrana je efektivnější. V praxi se většinou používá argon o čistotě 99,995%. Tento plyn lze využít jako ochranu pro všechny svařitelné materiály a i po stránce cenové je výhodný.

Kvalitu svaru i efektivnost využití laseru ovlivňují základní parametry, které závisí na režimu svařování.

Kontinuální režim: [3]

- Výkon laserového paprsku (W)
- Rychlost svařování (mm.s⁻¹)
- Parametry fokusačního zařízení – průměr fokusovaného paprsku, jeho divergence
- Doplnkové parametry
- Dodaná energie, tj. energie na jednotku délky
- Hustota výkonu – působení výkonu paprsku na plochu (W/cm²)
- Druh a průtok ochranného plynu

Zvýšení výkonu laserového paprsku zvyšuje hloubku i šířku svaru. Zvýšení rychlosti svařování naopak snižuje hloubku i šířku svaru. Další základní parametr je závislý na fokusačním zařízení, které zajišťuje požadovanou geometrii laserového paprsku, tj. průměr fokusovaného paprsku. Jeho hodnota ovlivňuje zásadním způsobem hustotu energie. Je nutno volit optimální průměr paprsku, který zajistí, aby poměr hloubky a šířky svaru byl větší než jedna.

Pulzní režim: [3]

- | | | |
|---|--------|------------------------|
| - Energie pulzu | E | (J) |
| - Délka pulzu | τ | (ms) |
| - Průměr fokusovaného paprsku | d | (mm) |
| - Poloha ohniska vzhledem k povrchu materiálu | s | (mm) |
| - Frekvence pulzů | F | (Hz) |
| - Rychlost svařování | v | (mm.s ⁻¹) |

Energie pulzu ovlivňuje podstatným způsobem celý proces svařování, má vliv na množství tepla dodaného do svaru.

$$E = \frac{E_m}{1-R} \cdot p \frac{d_p^2}{4} \cdot h_p \quad [\text{J}]$$

kde:

E_m - energie potřebná na natavení jednotkového objemu [J/m^3]

R - koeficient reflexe [-]

d_p - požadovaná šířka svaru [mm]

h_p - požadovaná hloubka svaru [mm]

Délka pulzu vyjadřuje dobu, po kterou působí laserový paprsek a tím i dobu na ohřev a tavení materiálu.

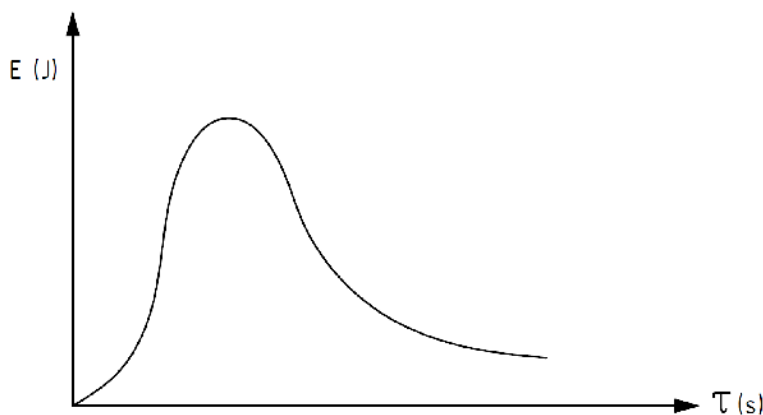
$$t = \frac{h_p^2}{4 \cdot k} \quad [\text{ms}]$$

kde:

h_p - požadovaná hloubka svaru [mm]

k - koeficient teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]

Hodnoty délky pulzu jsou závislé na druhu materiálu a jeho tloušťce. Délka pulzu ovlivňuje celistvost svaru, jeho geometrii a při svařování kondukčním způsobem musí být dostatečná k proniknutí toku tepla do požadované hloubky. Optimální délky pulzu se určují experimentálně. Vliv na kvalitu svaru má i tvar pulzu, nejvýhodnější je lichoběžníková nebo trojúhelníková forma. Charakteristická forma pulzu Nd-YAG laseru je znázorněna na obr. 17.



Obr. 17: Tvar pulzu Nd – YAG [3]

V první části pulzu dochází k tavení a probíhá hluboké protavení. Při následném poklesu energie pulzu roste množství tekutého kovu, který zaplňuje prostor kanálu vytvořeného na počátku pulzu.

Průměr fokusovaného paprsku má vliv na hustotu výkonu a na plochu, kde dochází ke vzájemnému působení paprsku a materiálu. Nejvýhodnější průměr paprsku se volí v rozsahu 0,05 – 1 mm. Společně s průměrem svazku má vliv na geometrii svaru i poloha ohniska vzhledem k povrchu materiálu. Společně ovlivňují hustotu výkonu v místě interakce a tím řídí přenos tepla do materiálu. Nejvýhodnější je umístění ohniska těsně pod povrch materiálu. Frekvence pulzů má vliv na svar pouze v případě, že koeficient překrytí je konstantní. Při nízké frekvenci je problematické dosáhnout kvalitní svar bez defektů v důsledku značného působení paprsku. Při vyšší frekvenci klesá hloubka protavení.

Vliv malého rozměru laserového paprsku a krátké doby interakce je při pulzním svařování patrný i na vzniklé struktuře svarového kovu, v důsledku vysokých rychlostí ochlazování a krystalizace. Rozměr tepelně ovlivněné oblasti je nepatrný a dosahuje řádově hodnoty stovek μm .

Vzhledem k vlivu na kvalitu svaru je nutno výběru parametrů a podmínek svařování věnovat zvýšenou pozornost.

2.2.1 AUTOMATIZACE LASEROVÉHO SVAŘOVÁNÍ [3,4]

Roboti byli poprvé využiti při dělení materiálu řezáním laserovým paprskem. Jednalo se pouze o pohyb dvojosý. Zdokonalováním byly novým systémům přidávány další stupně volnosti tak, že je bylo možno využívat i pro svařování, tepelné zpracování atd. U všech robotických systémů je nejdůležitější pohyb, který může vykonávat samotný laserový paprsek, výrobek nebo se pohybují oba současně. Pohyb laserového paprsku je vykonáván ve třech krocích:

- Přenos.
- Artikulace.
- Technologický pohyb.

Přenos zajišťuje přivedení laserového paprsku od zdroje do místa použití a nejobtížnější je zajistit změnu směru přímočarého laserového paprsku. Tato změna je uskutečňována soustavou zrcadel, nebo vedením laserového paprsku pomocí optického vlákna. Vedení optickým vláknem je nejčastěji využíváno u laserů typu Nd-YAG. Při použití zrcadel musí tato zrcadla vykonávat tři druhy pohybu – translační, rotační a naklápěcí. Těmito pohyby zrcadel je možno zajistit požadovanou směrovost laserového paprsku. Nevýhodou tohoto systému je, že při použití zrcadel dochází ke ztrátám a může se měnit polarizace a intenzita v laserovém paprsku. Z tohoto důvodu je snaha, aby počet zrcadel byl co nejmenší.

Artikulace zajišťuje směřování laserového paprsku při pohybu zařízení a podle způsobu artikulace dělíme zařízení na:

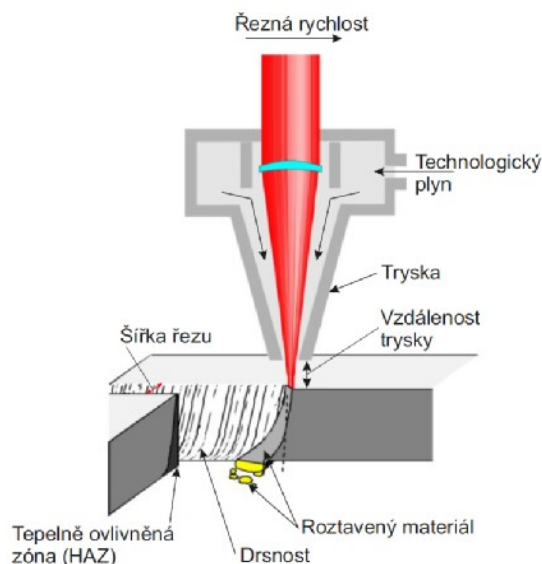
- Ortogonální - pracují až s pěti stupni volnosti. Výhodou je jednoduchost, zařízení mají malý počet zrcadel. Nevýhodou je robustní konstrukce zařízení.
- Polyartikulační - pracují až se šesti stupni volnosti a optickou dráhu mají zabudovanou uvnitř zařízení, nebo ji mají vně konstrukce. Nevýhodou je velký počet zrcadel.

S rozvojem laserů typu Nd-YAG se pro přenos i artikulaci laserového paprsku začíná více využívat optické vlákno. Tyto systémy pracují se šesti stupni volnosti a jejich velkou výhodou je, že z jednoho zdroje záření je možno vést paprsek současně na různá pracoviště.

Automatizace procesu umožňuje zajistit požadovanou flexibilitu celých výrobních systémů, které mohou být vybaveny centrální kontrolou zdrojů laserového paprsku i dalších technologických paramentů. Robot je pak vybaven potřebnými senzory pro snímání okamžitého stavu i polohy a je řízen počítačem.

2.3 ŘEZÁNÍ LASEREM [4,7]

Řezání laserem (obr. 18) se vyznačuje vysokou koncentrací energie, která umožňuje dělit všechny technické materiály bez ohledu na jejich chemické, fyzikální a tepelné vlastnosti. Vysoká energie laserového paprsku je fokusovaná na malý bod výrobku, v místě kontaktu se materiál ohřeje na teplotu varu, přičemž dochází k lokálnímu tavení, nebo k chemické degradaci až do hloubky materiálu. Řezání materiálu je umožněno odstraněním par kovů a taveniny z místa řezu pomocí pracovního plynu proudícího pod vysokým tlakem výstupní řezací tryskou. Pro většinu nekovových materiálů se jako pracovní plyn používá stlačený vzduch, pro oceli se nejčastěji používá kyslík (O_2).



Obr. 18: Řezání laserem [13]

Tabulka 1: Parametry řezání austenitických ocelí [4]

Tloušťka plechu (mm)	Výkon lasera (kW)	Rychlost řezání (mm.s^{-1})	Řezací plyn	Tlak řezacího plynu (MPa)
1,5	0,3	15	O ₂	1,3
2	0,5	20		0,6
3	0,6	10		0,5
4	0,7	13		0,5

Metody řezání laserem [7]:

- Sublimační řezání - spočívá v ohřátí materiálu na teplotu varu a intenzivním odpařování. Páry se odstraňují slabým proudem inertního plynu. Sublimační řezání se používá pro řezání tenkých plechů.
- Tavné řezání – materiál se ohřívá na teplotu tavení kontinuálním laserovým paprskem. Vzniklá tavenina je pak vyfouknuta neaktivním plynem o vysokém tlaku 10-15 barů. Tavné řezání se v průmyslu využívá k řezání vysokolegovaných ocelí, měď, hliník.
- Oxidační řezání – oxidační řezání je shodné s řezáním tavným a liší se pouze použitím kyslíku k odstranění taveniny. Základem řezání je exotermická reakce kyslíku s řezaným materiálem. Oxidační řezání se využívá k řezání nelegované nebo nízkolegované oceli.

Výhody řezání laserem:

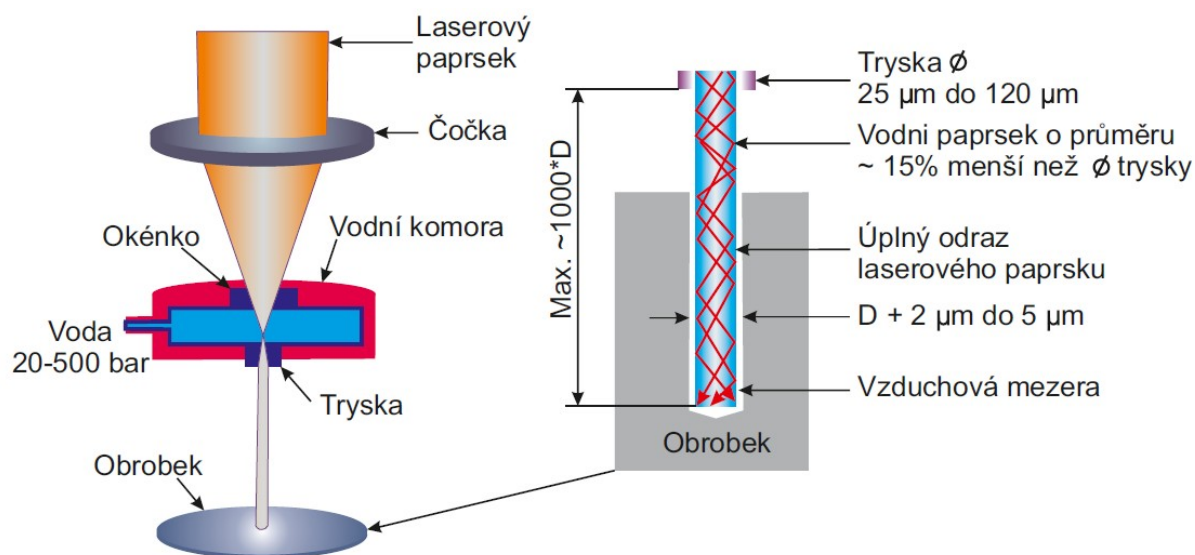
- Vysoké řezná rychlost.
- Vysoká tloušťka řezaného materiálu.
- Vysoká přesnost řezání.
- Velmi dobrá kvalita řezných ploch i u tvarových řezů.
- Možnost provádět rovinné i prostorové řezy.
- Řezná spára je velmi úzká.
- Lze řezat téměř všechny technické materiály.

Nevýhody řezání laserem:

- Vysoké provozní a pořizovací náklady.
- Na výkon řezání a kvalitu řezu může mít vliv charakter rozložení a symetrie plošného rozložení energie v laserovém paprsku.

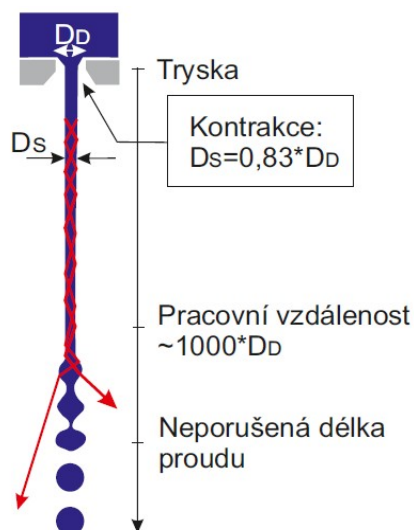
2.3.1 ŘEZÁNÍ KOMBINACÍ VODNÍHO PAPRSKU S LASEREM [9]

Tato metoda využívá rozdílný index lomu u vzduchu a vody. Laserový paprsek se ve vodním paprsku úplně odráží na rozhraní voda – vzduch. Vodní paprsek nahrazuje optické vlákno (obr. 19).



Obr. 19: Princip metody [9]

Díky tomuto uspořádání můžeme přesně obrábět pórovité a vrstvené materiály. Řezná plocha je hladká. Kvalita řezu je podstatně lepší než při samostatném vysokotlakém vodním řezání nebo laserovém řezání. Vzdálenost, na kterou může být laserové světlo vedeno vodním paprskem, je uváděna přes 10 cm. Vodní paprsek mimo funkce vedení laserového paprsku plní i funkci ochlazování obrobku a odvádění roztaveného materiálu z řezu (obr. 20).



Obr. 20: Pracovní vzdálenost [9]

V současnosti se jedná o nejmodernější metodu řezání materiálů. První laserové zařízení tohoto typu bylo vyvinuto v 90 letech 20 století ve Federálním technologickém ústavu ve Švýcarsku. Základem tohoto zařízení je Nd-YAG laser se zdrojem záblesková lampy nebo dioda. Pracuje s vlnovými délkami 1064 nm, 532 nm, 355 nm a délka pulzu je udávána v ms nebo ns. Průměrný výkon zařízení je 10 – 200 W. Voda pro vedení laserového paprsku musí

být filtrovaná, čistá, odionizovaná v množství cca 1l/hod a tlaku 300 – 500 barů. Hrdlo trysky je vyrobeno ze safíru nebo diamantu a má průměr 25 – 120 μm .

Výhody

- Možnost použití pro křehké i super tvrdé materiály (diamant).
- Vysoké řezné rychlosti.
- Velmi vysoká přesnost z důvodu malé šířky řezu 25 – 120 μm .
- Možnost řezání nejsložitějších tvarů i 3D obrábění.
- Možnost řezání i toxických materiálů – netvoří se výpary a toxické odpady spláchnou vodou.

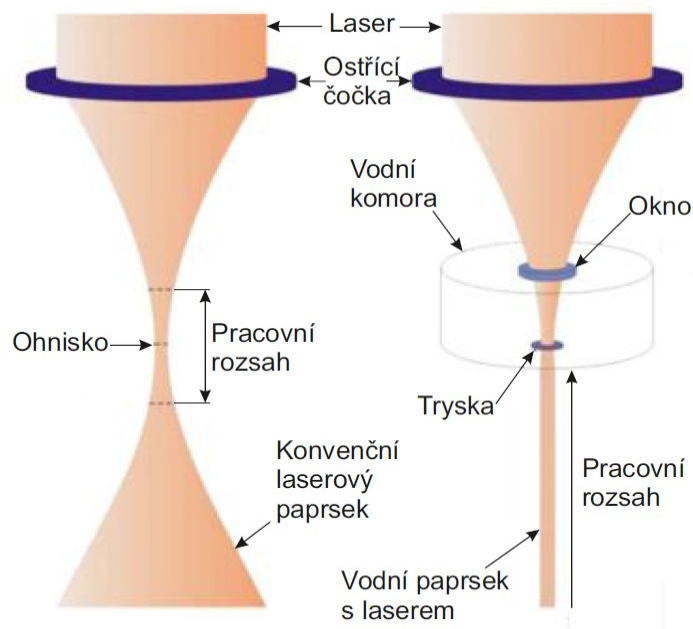
Nevýhody

- Zatím málo rozšířené.
- Drahé zařízení.

Typy zařízení

- LDS (Laser Dicing System) - zařízení se především využívá k řezání polovodičových destiček. Přesnost řezu 3 μm , rychlost řezání max. 1 m/s.
- LCS (Laser Cutting System) – jedná se o univerzální mikroobráběcí systém využitelný v různých průmyslových odvětvích pro řezání, vrtání a drážkování. Přesnost řezu a rychlost řezání je shodná jako u typu LDS.
- HLS (Laser Hybrid System) – používaný při výrobě polovodičů. Kromě vodního paprsku a laseru obsahuje zařízení i diamantový řezný kotouč.
- LCP (Laser Doping System) – využívá se pro zvýšení účinnosti solárních článků lokálním difúzním dopováním těchto článků.

Porovnání konvenčního laseru a laseru Microjet (obr. 21):



Obr. 21: Laser (vlevo), Laser Microjet (vpravo) [9]

Na obrázku je patrná hlavní výhoda laseru Microjet tj. delší pracovní oblast, která umožňuje řezat i odstupňované materiály bez nutnosti neustálého zaostřování. Řez v celé pracovní oblasti je rovný a hladký.

2.4 PLAZMA [7,15]

Plazma je stav plynu označovaný jako čtvrtý stav hmoty. Pro vznik plazmy je nutná ionizace plynu, kdy dojde k uvolnění elektronů z vnějších drah atomů a plyn se tak stává vodivým. Princip plazmového svařování je podobný jako u svařování metodou WIG. Rozdíl spočívá v nahrazení keramické hubice hořáku u metody WIG tryskou kovovou u svařování plazmou. Pro vznik plazmy je potřebná velká tepelná energie, která je v technické praxi při svařování plazmou dodána při průchodu plynu elektrickým obloukem, který je zdrojem energie potřebné k ionizaci plynu. Zapojení hořáku je závislé nebo nezávislé.

V praxi je nejvíce využíváno zapojení závislé, kdy svářený materiál je zapojen na plus pól a wolframová elektroda na mínus pól. Pro vznik plazmy je zapálen pomocný startovní oblouk připojením VF ionizátoru na trysku hořáku. Po vzniku pomocného oblouku je v přivedeném plynu jeho ionizací vytvořeno vodivé prostředí, které umožňuje zapálení hlavního oblouku mezi tryskou a materiálem.

Při úplné ionizaci plynu by byla dosažena velmi vysoká teplota cca 100000 K. Tato teplota není pro svařování potřebná a je proto využívána plazma ionizovaná částečně. Zbylá neionizovaná část plynu je využívána ke stabilizaci plazmového paprsku v ose hořáku a k jeho ochlazení. Používané plyny dosahují teploty plazmy v průměru 9000-35000 K.

Z důvodu dosažení úzkého plazmového paprsku jsou plazmové hořáky konstruovány se zúženou výstupní tryskou. K dalšímu zúžení paprsku dochází působením fokusačního plynu. Vzniklá plazma předává svoji tepelnou energii do materiálu s účinností 70-80%. Při svařování je využíváno, že plyn při průchodu obloukem zvětšuje objem a tím se zvyšuje výstupní rychlost plazmy. Rychlost vystupující plazmy je 200-500 m/s a plazma má tak vysoký dynamický účinek. Dynamický účinek dopadající plazmy nesmí být při svařování příliš vysoký, docházelo by k vyfukování taveniny z oblasti svaru. Díky optimálnímu dynamickému účinku je možno svařovat bez úkosu, i bez podložení kořene při dosažení velmi dobrého průvaru svaru i materiály větších tloušťek cca 10–12 mm. Plazmou vyrobené svary jsou bez bublin a z čistoty svaru pak vyplývají i dobré mechanické hodnoty. Při použití střídavého nebo impulzního proudu lze celý svařovací proces velmi dobře mechanizovat. Pro svařování plazmou se používají tři druhy plynů:

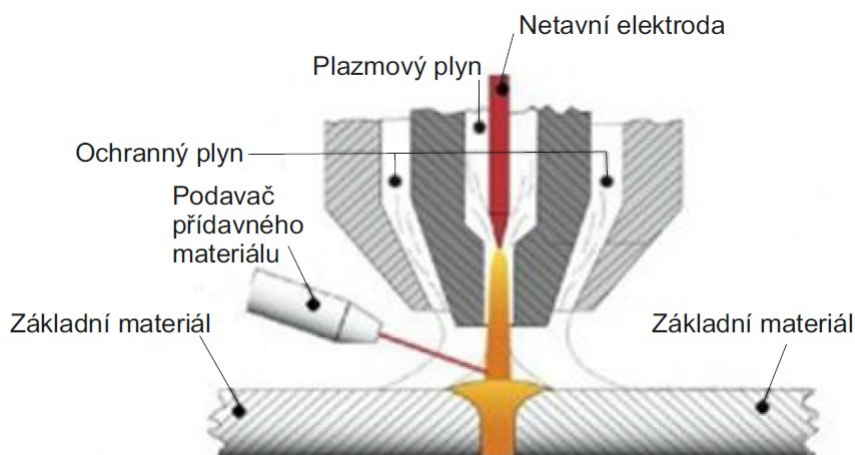
- Plazmový - nejčastěji argon nebo argon v kombinaci s heliem nebo vodíkem.
- Fokusační - slouží k zúžení paprsku plazmy, nejčastěji směs argonu s vodíkem nebo dusíkem.
- Ochranný – tento plyn slouží ke snížení oxidace svarového kovu.

2.4.1 MIKROPLAZMOVÉ SVAŘOVÁNÍ [15]

Při mikroplazmovém svařování (obr. 22) je využíváno závislé zapojení a přenesený plazmový oblouk. Vzhledem k vysoké stabilitě plazmového oblouku je možno svařovat i při nízkých proudech v rozsahu 0,05–50 A, což umožňuje svařovat velmi tenké materiály od kovových folií tloušťky 0,01 mm až po plechy tloušťky 2,0–2,5 mm. Jako plazmový plyn se využívá argon, argon v kombinaci s vodíkem nebo heliem a to podle druhu svařovaného materiálu. Spotřeba plazmového plynu se pohybuje od 0,2–1 l/min. Na kvalitu svařování mají největší vliv elektrické hodnoty jako polarita, velikost proudu a napětí. Kvalitu svaru ovlivňuje také ve značné míře i volba ochranného plynu a jeho množství. Jako ochranný plyn se nejčastěji používá argon. V porovnání s metodou WIG je při svařování mikroplazmou malé nebezpečí vzniku wolframových vměstků. Z důvodu vysoké jakosti svařovaných spojů je metoda svařování mikroplazmou využívána v leteckém a kosmickém průmyslu atd..

Svařování mikroplazmou je možno využívat při ručním i mechanizovaném svařování. V případě mechanizovaného svařování při svařování plechů tloušťek 0,2 – 0,8 mm lze svar

provádět velkými rychlostmi a svařování je prováděno tzv. průchozím paprskem. Průchod plazmy svařovaným materiálem je znakem jeho dokonalého provaření.



Obr. 22: Princip mikroplazmového svařování [14]

2.5 SVAŘOVÁNÍ AUSTENITICKÝCH OCELÍ [1,3,8]

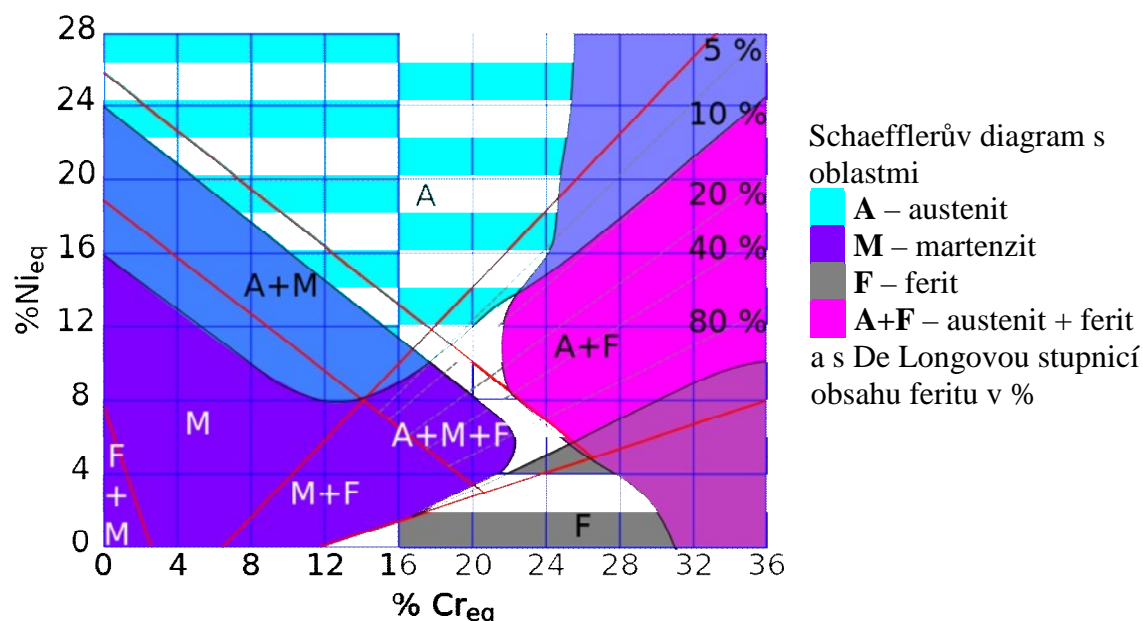
Austenitické Cr-Ni oceli jsou vysoko legované oceli s obsahem legujících prvků nad 10 hm. % celkového obsahu. Struktura korozivzdorných ocelí závisí na jejich chemickém složení, je dána kombinací vlivu austenitotvorných prvků (C, Ni, Cu, Mn, N) a feritotvorných prvků (Cr, Mo, Si, Al, W, Ti, Nb, V). U austenitických ocelí uvedené austenitotvorné legury zlepšují především korozní vlastnosti materiálu. Vliv všech prvků je vyjádřen ekvivalentem niklu – Ni_E a ekvivalentem chromu – Cr_E . Na základě těchto ekvivalentů byly zkonstruovány diagramy Schaefflerův (obr. 23) a De Longův, které slouží k odhadům výsledné struktury Cr-Ni oceli.

$$Cr_E = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb$$

[hm%]

$$Ni_E = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn$$

[hm%]



Obr. 23: Schaefflerův diagram [10]

Ze Schaefflerova diagramu je odvozen i S          vzorec pro stanoven   obsahu δ feritu v austenitick   oceli.

S          vzorec:

$$\% \delta \text{ feritu} = 3 \cdot (\text{Cr}_E - 0,93 \cdot \text{Ni}_E - 6,7)$$

Použijeme-li tyto diagramy k odhadům obsahu austenitu a feritu ve svarov  m kovu, je nutno zahrnout i prom  sen   svarového kovu a změnu složení např. s p        m materiálem.

Při svařování austenitických ocelí musíme brát v úvahu i vlastnosti svařovaného materiálu. Austenitick   ocel má v  t   i tepelnou roztažnost, n      i tepelnou vodivost, což se projevuje většími deformacemi a napětím. Tyto oceli však maj  i lep    i tažnost a houževnatost než n  zkolegovan   oceli. Svařitelnost austenitických korozivzdorných ocelí je především ovlivněna:

- Náchylností těchto ocelí ke vzniku trhlin za tepla.
- Mezikrystalovou korozi.
- Zk  ehnut  m oceli.

P    inou vzniku teplých trhlin ve svarov  m kovu, p    padn  e i v TOO je vznik hrubozrn   struktury a p    tinnost S, P, Si, Ti, Nb, kter  e sn      i plasticitu kovu, nebo sn      i pevnost na hracích zrn. Jejich vliv je mo    no snížit p      kem dalších prvků, nebo pou    t  m jejich minimálního mno  stv  i s ohledem na stabilizaci oceli. Nejv  t    i vliv na zvy    en  i odolnosti proti vzniku trhlin za tepla m  a obsah δ feritu, kter  y je doporu    ovan   v rozsahu 2–6%. Vznik mezikrystalové koroze je z  visl  y na obsahu C, jehož vliv se za    n  a projevovat od hodnoty 0,02%.

Vznik mezikrystalové koroze je vysvětlován několika teoriemi:

- Teorie ochuzen   – sn    en   obsahu chromu na hranicích zrn pod hodnotu 12%.
- Teorie pnut   – vznikem velkých vnit  rn  ch pnut   vzniknou v oceli velké energetick   rozdílly s důsledkem   patn   pasivace hranic zrn.
- Teorie mikročlánků – na hranicích zrn karbidů a základního materiálu vznikne článek, kdy karbid je katoda a základní kov anoda.

Pon  v  d     v    chny teorie vych  z  i z precipitace karbidů a nitridů chromu je mo    no mezikrystalovou korozi ovlivnit chemick  m slo  en  m, dobou setrv  n  i v oblasti kritických teplot, stabilizac  i oceli, tepeln  m a mechanick  m zpracováním. Problematiku mezikrystalové koroze by vy      lo sn    en  i obsahu C pod 0,02%. Vzhledem k obtížnostem sn    en  i se proto do oceli p      v  j  i stabiliza  n  i prvky Ti, Nb a Ta, kter  e maj  i v  t    i afinitu k uhlíku než chrom.

Vzhledem k uveden   problematice je mo    no austenitick   oceli svařovat v    mi dostupnými způsoby sva  ov  n  i a to bez předehřevu. Pro zamezen  i tvorby trhlin za tepla je nutno tepeln   příkon omezit na max. $15 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$ při teplotě interpass max. 150°C . Z důvodů kone  n   struktury svarového kovu, k obsahu δ feritu a malému obsahu škodlivých p    m    i je v    hodn  e svařovat austenitick   oceli laserov  m paprskem. Svarov  e spoje austenitických ocelí se dále tepeln  e nezpracov  v  j  i.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - NÁVRH OPRAV

Ze zjištěných závad dokumentovaných v kap. 1.3, vzhledem k podmínkám provozu ionexových filtrů a z důvodu odlišné konstrukce vnitřní vestavby ionexových filtrů vyplynula nutnost řešit závady několika způsoby. Ionexové filtry Ø1000 mm mají demontovatelnou vestavbu, ionexové filtry Ø1500 mm nedemontovatelnou přivařenou vestavbu. Současně s řešením technologie výroby náhradních dílů se ukázalo jako nutné vyřešit problematiku výroby jednotlivých komponent těchto dílů. Při řešení výroby jednotlivých komponent byl brán zřetel i na možnost využití těchto komponent pro výrobu nově konstruovaných a vyráběných ionexových filtrů a lapačů ionexu. Z výše uvedených důvodů je oprava vestavby řešena následujícími způsoby:

- a) V případě, že v důsledku promývky, kypření, či jiné provozní manipulace s ionexovou náplní dojde k poškození svaru nebo vznikne na stávající vestavbě větší netěsnost než povolených 0,4 mm, je možné odstranit netěsnost dotlačovacím třmenem navržené konstrukce. Opravu netěsností třmenem lze provést u obou typů ionexových filtrů (Ø1000 mm, Ø1500 mm).
- b) Při větším poškození filtračního plechu, které není možno opravit třmenem, je oprava navržena:
 - pro filtry Ø1000 mm navrhnout a vyrobit náhradní díly takovým způsobem, aby zůstal zachován původní filtrační kříž,
 - pro filtry Ø1500 mm navrhnout způsob demontáže stávajícího filtračního kříže, navrhnout výrobu i montáž nově vyrobeného filtračního kříže,
 - v případě požadavku provozovatele zařízení lze provést demontáž stávající vestavby a montáž nového filtračního kříže i u ionexového filtru Ø1000 mm.
- c) Výměnou stávajícího ionexové filtru nově vyrobeným ionexovým filtrem.

3.1 VSTUPNÍ PODMÍNKY A POŽADAVKY

Jaderné elektrárny a veškeré jejich komponenty jsou projektovány tak, aby byla zaručena jejich spolehlivost a bezpečnost po celou dobu projektované životnosti elektrárny ve všech nominálních i nenominálních provozních režimech.

Přístup při stanovování podmínek životnosti elektráren byl dán vědeckotechnickými znalostmi v době projektu a byl vždy velmi konzervativní. Při provozu jaderných elektráren se zjišťuje, že jednotlivé komponenty mohou bezpečně sloužit delší, než předpokládanou dobu. Z tohoto důvodu je prováděno nové ověřování jejich životnosti na základě nových vědeckých poznatků, provozních zkušeností a při použití nových výpočetních metod. Dozorné orgány pak na základě těchto podkladů mohou povolit prodloužení doby provozu jaderné elektrárny. Jaderné elektrárny provedly hodnocení rizika plynoucí z možného poškození vnitřní vestavby ionexových filtrů u jednotlivých čistících stanic. Potenciální rizika v případě poruchy filtru byla vyhodnocena v rozsahu od snížení účinnosti čištění, přes provoz čistících stanic bez rezervy až po krajní případ dlouhodobého odstavení daného bloku z provozu. Na základě popsání potenciálních rizik české a slovenské jaderné elektrárny požádaly o návrh na provedení oprav ionexových filtrů a lapačů ionexu na čistících stanicích provozních vod elektráren. Současně měl být vyřešen i způsob a technologie výroby nových náhradních dílů.

V zadání byl vysloven jednoznačný požadavek, že opravy ionexových filtrů a lapačů ionexů musí být provedeny takovým způsobem, aby nebyla narušena integrita žádné tlakové nádoby filtrů a nemusela být po ukončení oprav prováděna pevnostní tlaková zkouška. Pro splnění tohoto požadavku je nutné veškeré provedení oprav provádět přes otevřený vstupní průlez do tlakové nádoby. Průlez má Ø500 mm. Prováděné opravy budou tedy probíhat

v prostředí ionizujícího záření, v uzavřeném prostoru tlakových nádob a budou prováděny nad otevřeným primárním a sekundárním okruhem.

Ionexové filtry a lapače ionexových částic ve všech čisticích stanicích provozních vod elektráren jsou určeny pro zachyt kationtů a aniontů štěpných produktů. V praxi to znamená, že v průběhu kampaně narůstá aktivita daných náplní a tudíž i filtrů. Provozními měřeními oddělení dozimetrické služby bylo zjištěno, že hodnota radiace se může pohybovat na úrovni 500 $\mu\text{Gy/hod}$ kontaktně, tzn. do vzdálenosti 100 mm. Ve vzdálenosti 500 mm od povrchu tlakových nádob ionexových filtrů je tato hodnota ještě 100 $\mu\text{Gy/hod}$. Přípustná hodnota pro profesionální pracovníky se může lišit na každé elektrárně, ale v průměru je možno uvažovat, že se pohybuje v hodnotách – denní dávka 1 mSv a roční maximální dávka 20 mSv.

Z provozních zkušeností vyplývá, že po úplném vyprázdnění ionexových náplní a následném promytí čistou vodou dojde k řádovému poklesu uvedených hodnot. Vzhledem k použitému materiálu na výrobu tlakových nádob ionexových filtrů není předpokládána ani kontaminace základního materiálu. Teprve po přípravě nádob bude provedeno proměření radiační situace a určeno za jakých podmínek je možno na dané komponentě provádět opravy. Další omezení pak vyplývá z toho, že se jedná o práci v uzavřeném prostoru. Musí být zajištěna dostatečná ventilace prostoru, měření dýchatelnosti ovzduší uvnitř nádoby, zajištění přívodu vzduchu do speciálních skafandrů. Také práce nad otevřeným primárním a sekundárním okruhem mají svá přísná pravidla, veškeré nástroje a používané náhradní díly musí být zajištěny proti pádu do okruhů. Současně je nutné i zajištění všeobecné bezpečnosti práce. Při svařování musí být dodrženy požadavky protipožární ochrany, které jsou v prostorách jaderné elektrárny velmi přísné.

Výše popsané požadavky provozovatele jsou limitující pro výrobu náhradních dílů s ohledem na technologii oprav, stanovení časové náročnosti oprav, volbu montážních pracovníků (svařeči, montéři), zajištění bezpečnosti při provádění oprav (bezpečnost pracovníků a zajištění pracovních nástrojů).

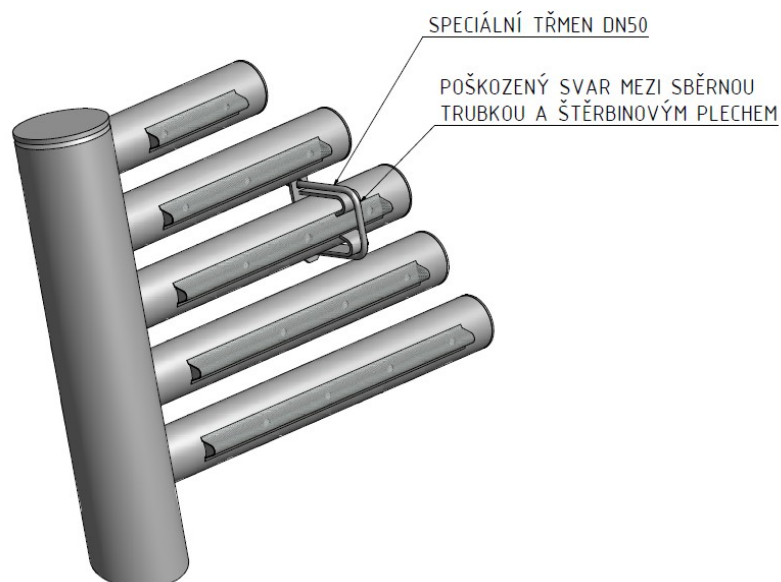
Samozřejmostí je, že veškeré materiály a vyrobené náhradní díly budou dodány v kvalitě dokladované dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. – Vybrané zařízení, bezpečnostní třída BT3.

3.2 OPRAVA POMOCÍ TĚSNÍČÍHO TŘMENU

Oprava pomocí speciálního těsnícího třmenu je možná u ionexových filtrů Ø1000 mm i Ø1500 mm. U ionexového filtru Ø1000 mm je zjištění závady i její oprava snadnější z důvodu demontáže filtračního kříže a jeho zdvižení do úrovně průlezu. U ionexových filtrů Ø1500 mm je prohlídka provedená endoskopem nebo kamerou. Oprava musí být provedena uvnitř nádoby.

Speciální třmen DN50 je navržen tak, aby spolehlivě dotlačil šterbinový plech ke sběrné trubce a současně nebránil volnému průtoku čištěných vod ionexovou náplní a celým povrchem filtračního plechu.

Na poškozený svar nebo zjištěnou netěsnost mezi šterbinovým plechem a sběrnou trubicí se umístí speciální tvarový třmen (obr. 24). Tvarový třmen překryje poškozený svar nebo vzniklou netěsnost a přitáhne ho zpět ke sběrné trubce tak, aby mezi šterbinovým plechem a sběrnou trubicí nebyla mezera větší než 0,4 mm.



Obr. 24: Oprava netěsnosti speciálním třmenem.

Detailní postup opravy třmenem u filtru Ø1000 mm :

- 1) Po demontáži spojovacího kolíku vysunout vestavbu drenážního kříže do úrovně průřezu Ø500 mm. Toto posunutí provést pomocí zdvihacího mechanismu, který se zavěsí na sprchovací věnec v horní části filtru.
- 2) Detekovat poškozené místo na sběrné trubce.
- 3) Na poškozený svar navléci speciální třmen DN50.
- 4) Zkontrolovat nasazení třmene na poškozenou část svaru, zda správně doléhá na poškozené místo. Postupně střídavě dotahovat dotlačovací matice až dojde k dotlačení štěrbinového plechu ke sběrné trubce.
- 5) Vestavbu drenážního kříže spustit na dno filtru a opět vrátit na výstupní hrdlo.
- 6) Na původní pozici drenážní kříž zajistit distanční podložkou a pojišťovacím kolíkem.
- 7) Vizuálně zkontrolovat místo opravy, zda je oprava provedena správně a zda vlivem opětovné montáže vestavby nedošlo k poškození opravované sběrné trubky, eventuálně nedošlo k poškození jiné sběrné trubky.

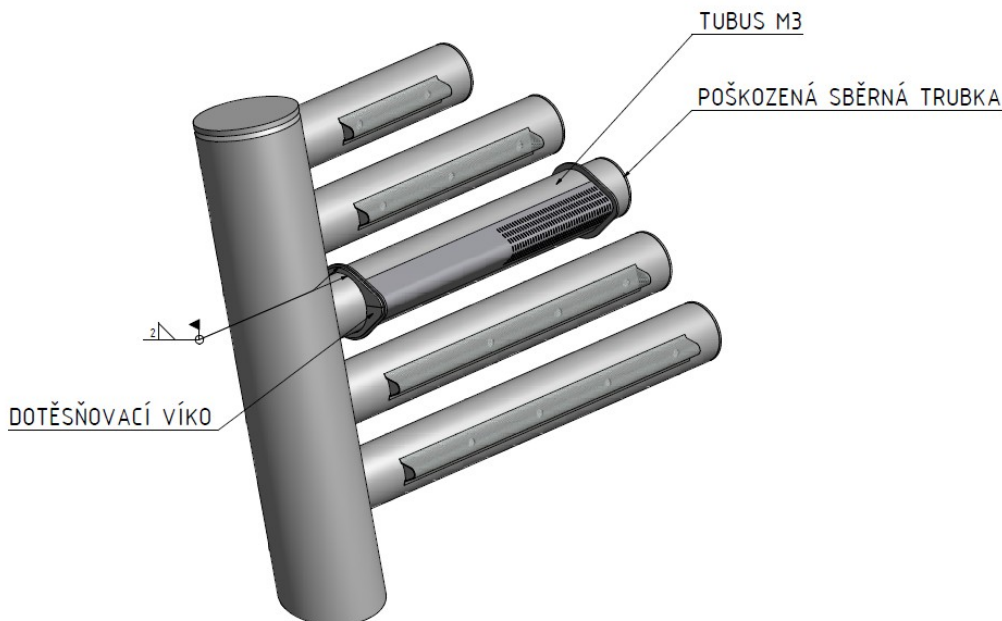
Detailní postup opravy třmenem u filtru Ø1500 mm :

- 1) Detekovat poškozené místo na sběrné trubce.
- 2) Na poškozený svar navléci speciální třmen DN50.
- 3) Zkontrolovat nasazení třmene na poškozenou část svaru, zda správně doléhá na poškozené místo. Postupně střídavě dotahovat dotlačovací matice až dojde k dotlačení štěrbinového plechu ke sběrné trubce.
- 4) Zkontrolovat správnost provedené opravy kamerou.

3.3 OPRAVA POMOCÍ NOVÉHO TUBUSU

Opravu tímto způsobem je možno aplikovat pouze u ionexového filtru Ø1000 mm s demontovatelnou vestavbou. Oprava tubusem bude prováděna v případě, že netěsnost nebo poškození filtračního plechu bude takového rozsahu, kdy nebude možná oprava třmenem. Celá oprava bude provedena průřezem Ø500 mm.

Tubus je osazen novým štěrbinovým filtračním plechem a je konstruován tak, aby bylo možné jeho nasazení na poškozenou sběrnou trubku i bez demontáže stávajícího filtračního plechu. Tento tubus se z přední strany přichytí za pomoci svaru ke sběrné trubce, na zadní stranu tubusu se přivaří těsnící víka, která se přivaří i ke sběrné trubce (obr. 25).



Obr. 25: Oprava ionexové filtru Ø1000 novým tubusem

Detailní postup opravy pomocí tubusu:

- 1) Po demontáži spojovacího kolíku vysunout vestavbu drenážního kříže do úrovně průřezu Ø500 mm. Toto posunutí provést pomocí zdvihacího mechanismu, který se zavěsí na sprchovací věnec v horní části filtru.
- 2) Detekovat poškozené místo na sběrné trubce.
- 3) Na poškozenou sběrnou trubku nasunout tubus (délka tubusu je závislá na délce poškozené sběrné trubky) tak, aby přední čelo tubusu se shodovalo s pozicí předního čela na poškozeném štěrbinovém plechu.
- 4) Na tubus ze zadní strany přiložit dotěšňovací víka a přivařit ke sběrné trubce a k tubusu.
- 5) Přední čelo tubusu přivařit ke sběrné trubce.
- 6) Vestavbu drenážního kříže opatrně spustit na dno filtru a opět vrátit na výstupní hrdlo.
- 7) Na původní pozici drenážní kříž zajistit distanční podložkou a pojišťovacím kolíkem.
- 8) Vizuálně zkontrolovat místo opravy, zda je oprava provedena správně a zda vlivem opětovné montáže vestavby nedošlo k poškození opravované sběrné trubky, eventuálně nedošlo k poškození jiné sběrné trubky.

3.4 VÝMĚNA CELÉ VESTAVBY

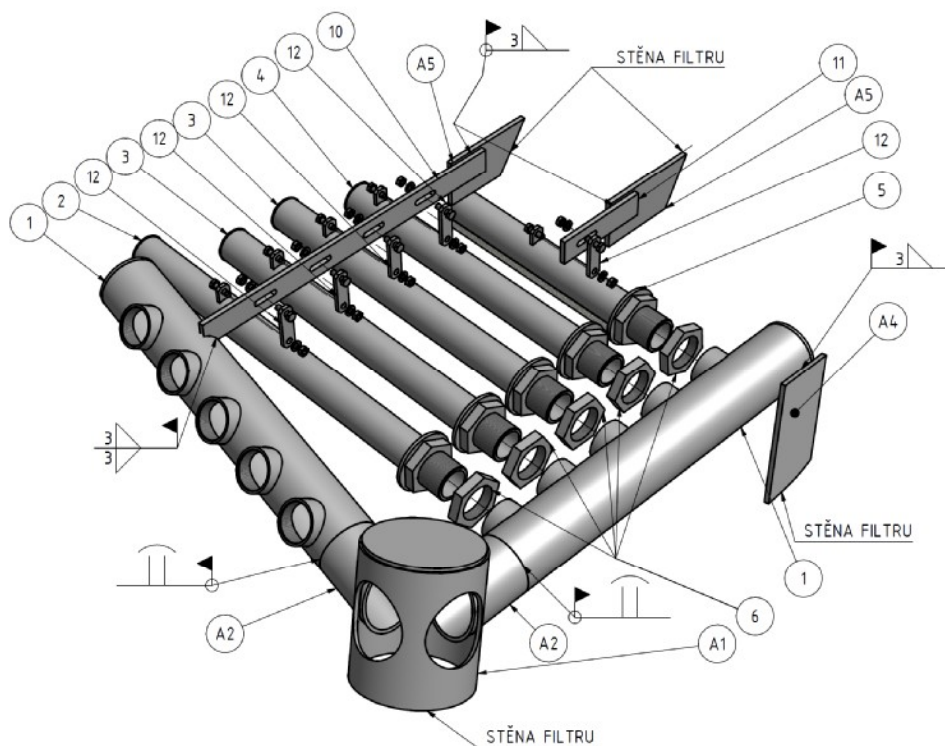
Výměna celé vestavby může být provedena u obou typů ionexových filtrů. Přednostní využití je však předpokládáno pro opravy ionexových filtrů Ø1500 mm (obr. 26) z důvodu nemožnosti oprav větších netěsností tubusem.

Oprava bude provedena tak, aby nebylo zasáhnuto do vnějšího pláště filtru. Tudiž nebude nutno provádět po montáži tlakovou zkoušku na filtru.

Postup výměny:

- 1) V předepsané vzdálenosti cca 150 mm od stěn filtru se uříznou a demontují původní výztuhy (A5).
- 2) Čtyři stávající sběrná ramena (A2) budou uříznuta v předepsané vzdálenosti od hrdla přivařeného k výstupnímu otvoru ionexového filtru.

- 3) K hrdlu se přivaří nová sběrná ramena (1) pod úhlem 22° . Nová sběrná ramena jsou osazena závitovými pouzdry.
- 4) Do závitových pouzder se našroubují sestavy sběrných trubíc (2,3,4,5). Sběrné trubice se ve správné poloze zajistí pojistnými kontramaticemi (6).
- 5) Za pomoci šroubového spoje se na sběrné trubice přichytí spojovací plech (12) na který se připojí vzpěry (10,11).
- 6) Namontované vzpěry se montážně přivaří ke stávajícím výztuhám (A5) na plášti filtru. Delší výztuha se ještě zafixuje svarem na druhém sběrném rameni (1).
- 7) Po montáži a očištění na požadovaný SČP bude provedena vizuální kontrola.



Obr. 26: Výměna vnitřní vestavby ionexového filtru Ø1500

4. VÝROBA NÁHRADNÍCH DÍLŮ

Z důvodu dosavadního prakticky bezporuchového provozu ionexových filtrů a lapačů v čistících stanicích jaderných elektráren požadují jaderné elektrárny přípravu technologie oprav a přípravu výroby náhradních dílů pro případnou výměnu celé vestavby filtračních křížů. Na základě požadavku provozovatele bude vyrobeno pouze minimální množství náhradních dílů. Část bude použita k opravě jediného poškozeného ionexového filtru (kap. 1.3). Zbývající vyrobené kusy speciálních třmenů DN50 a jedna sada tubusů potřebná pro opravu ¼ filtračního kříže ionexového filtru Ø1000 mm bude uskladněna v elektrárně pro případné použití.

Z důvodu požadavku slovenských jaderných elektráren na prověření a zajištění výroby nových ionexových filtrů s filtračními plechy o šířce štěrbin 0,25 mm a nových lapačů ionexů s filtračními plechy se štěrbinami o šířce 0,1 mm byla v rámci této diplomové práce řešena i problematika výroby nových dílů.

4.1 SPECIÁLNÍ TŘMEN DN50

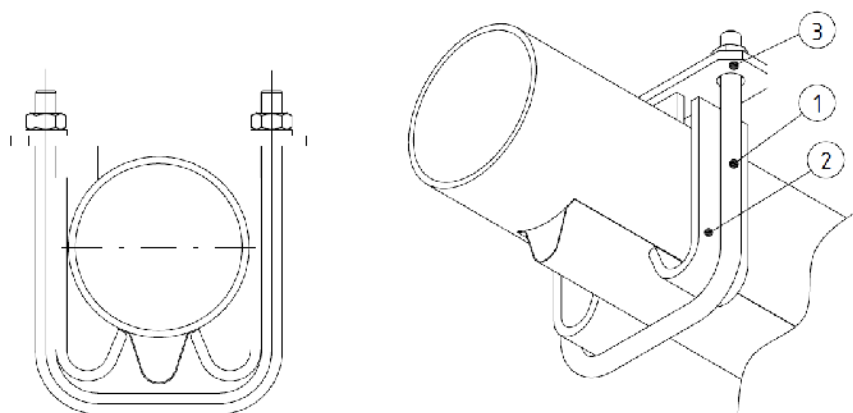
Speciální třmen (obr. 27) je vyroben z materiálu 1.4541. Základem je kruhová ocel Ø6 mm ohnutá do požadovaného tvaru třmene (1). K základnímu třmenu jsou přivařeny speciálně tvarované dotlačovací plechy (2) tl. 3 mm a šířky 20 mm. Plechy jsou ke třmenu přivařeny úkosovým svarem (K-svar), metodou 141-WIG, přídavný materiál Sv-04Ch19N11M3 v ochranné plynové atmosféře 99,99Ar.

Součástí třmenu je uzavírací element (3) s přivařenými, podle průměru sběrné trubky, tvarovanými opěrnými plechy. Tyto opěrné plechy jsou k základnímu plechu uzavíracího elementu přivařeny metodou 141-WIG, koutovými svary, přídavný materiál Sv-04Ch19N11M3, nebo elektrodami Ø2 mm a Ø2,4 mm.

Tabulka 2: Chemické složení přídavného materiálu – v hm. %

Značka svař.drátu	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Co	δ-Fe
Sv-04Ch19N11M3	≤ 0,08	0,3÷1,2	0,8÷2,0	16÷20	9÷12	1,5÷3,0	0,02	0,03	0,05	2÷8

Po výrobě je celý třmen očištěn dle požadavků elektráren na SČP II, tzn. povrch kovově čistý. V celém procesu výroby třmenu budou prováděny kontroly v souladu s vypracovaným programem kontrol a zkoušek.



Obr. 27: Nárys a izometrický pohled na třmen

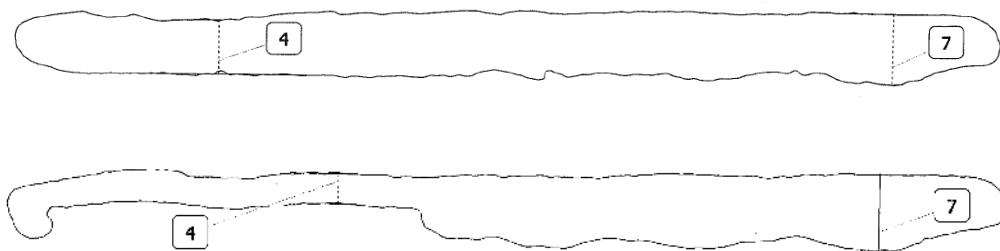
4.2 VÝROBA TUBUSU

Před výrobou tubusů určených pro opravu netěsných sběrných trubek, případně i pro výrobu nových dílů sběrných trubek a filtračních svící lapačů bylo nutno vyřešit tři základní problémy:

- 1) Navrhnout novou metodu, zajistit a ověřit výrobu filtračních plechů se šterbinami šířky 0,3 mm a šířky 0,25 mm, délky 4 mm, v plechu tl. 0,4 mm.
- 2) Ověřit možnost výroby a použití filtračních plechů se šterbinami šířky 0,1 mm, délky 4 mm, v plechu tl. 0,4 mm, pro výrobu nových filtračních svící lapačů ionexů.
- 3) Zvolit a ověřit vhodnou metodu svařování filtračních plechů tl. 0,4 mm k trubce Ø60/2 mm pro výrobu tubusů, pro výrobu nových částí k trubce Ø50/2 mm.

4.2.1 ŘEZÁNÍ ŠTERBIN ŠÍŘKY 0,25 MM

Při výstavbě prvních jaderných elektráren byly filtrační plechy filtračních křížů vyráběny prostřihováním. Výroba nových nástrojů by pro rozsah náhradních dílů byla neekonomická a z tohoto důvodu byla navržena a ověřena nová technologie výroby šterbin šířky 0,25 mm řezáním laserovým paprskem. Po vyrobení ověřovacích kusů byl při vstupní kontrole zjištěn nevyhovující stav vyřezaných šterbin. Z tohoto důvodu byl vzorek šterbinového plechu předán k ověření do českého metrologického institutu. Metodou optického skenování bylo provedeno měření deseti náhodně vybraných šterbin. Výsledky byly zaznamenány do kalibračního listu a provedením jejich rozboru bylo konstatováno, že šterbiny vyráběné touto metodou mají nerovné a nepravidelné hrany a šířka šterbin je v průběhu jejich délky značně proměnná a přesahuje stanovené toleranční pole $\pm 0,03$ mm (obr. 28).



Obr. 28: Tvar filtrační šterbiny [21]

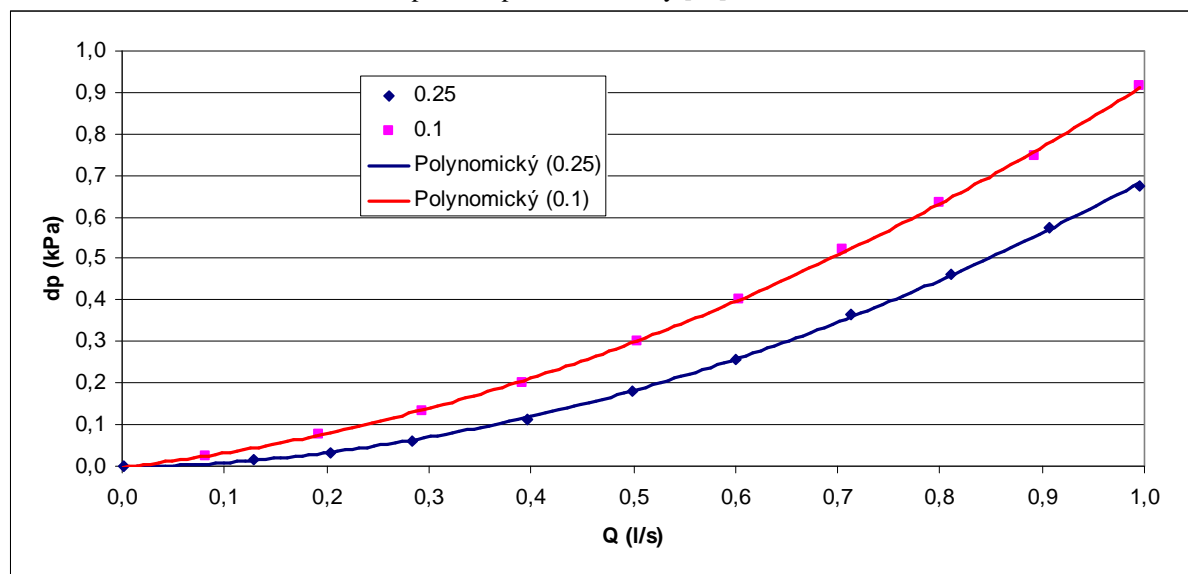
Ze zjištěných odchylek tvaru a rozměru měřených šterbin je patrné, že výrobce plně nezvládl technologii výroby šterbin a z tohoto důvodu nebyla výroba dalších filtračních plechů od tohoto dodavatele poptána. Výroba filtračních plechů se šterbinami šířek 0,3 mm a 0,25 mm byla objednána u jiného výrobního podniku. Kvalita vyráběných filtračních plechů je v současné době plně vyhovující.

4.2.2 ŘEZÁNÍ ŠTERBIN ŠÍŘKY 0,1 MM

Pro výrobu šterbin šířky 0,1 mm byla navržena metoda řezání kombinací vodního paprsku s laserem (Laser–Microjet). U výrobce disponujícího touto nejmodernější technologií řezání byla vyrobena zkušební série filtračních plechů. Pro ověření použitelnosti šterbinových plechů s touto šířkou šterbin u lapačů ionexů byly zhotoveny dva modely filtračních svící, se šířkami šterbin 0,25 mm a 0,1 mm, pro porovnání a ověření tlakových ztrát za provozu. Ověření na zkušební lince bylo provedeno v laboratoři VÚT Brno, FSI, odbor fluidního inženýrství V.Kaplana.

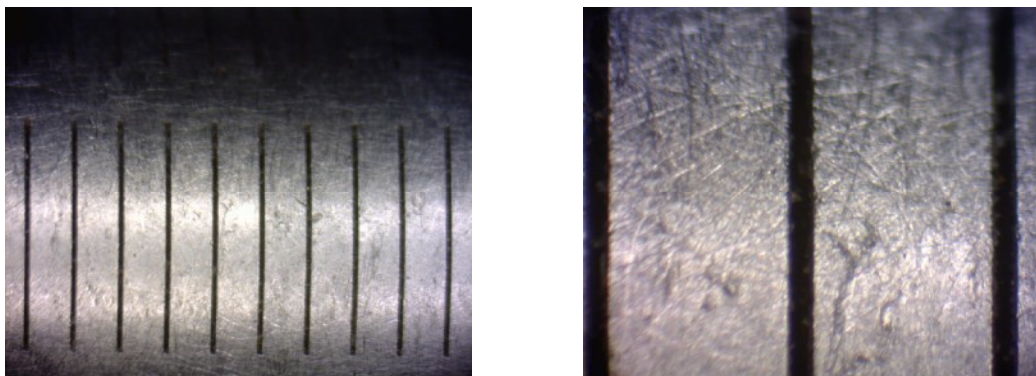
Měření bylo provedeno pro průtok kapaliny v rozsahu 0,1–1 l/s. Tlakové ztráty pro obě šířky šterbiny jsou uvedeny v grafu 1.

Graf 1: Závislost tlakové difference na průtoku pro obě varianty [20]



Z výsledku měření vyplývá, že pro zajištění stejné tlakové difference, jaká je povolena pro štěrbinu šířky 0,25 mm, je nutno u štěrbin šířky 0,1 mm zvýšit průtočnou plochu štěrbin o cca 15%. Filtrační plechy se šířkou štěrbin 0,1 mm lze pro výrobu filtračních svíci lapačů použít. Podmínka zvýšení plochy je po konstrukční, technologické i výrobní stránce realizovatelná.

Na obr. 29 jsou znázorněny štěrbin vyrobené řezáním kombinací vodního paprsku s laserem (Laser-Microjet), šířka štěrbin 0,1 mm.



Obr. 29: Štěrba 0,1 mm, zvětšení 10x, 30x

4.2.3 SVAŘOVÁNÍ TUBUSU

Dalším problémem byla volba vhodné metody svařování dvou austenitických materiálů stejné jakosti, ale rozdílných tloušťek - tenký plech 0,4 mm, trubka 2 mm. Pro svařování těchto materiálů byla navržena metoda svařování laserem bez přídavného materiálu. V první fázi byla zvažována možnost použití dvou metod laserového svařování:

- Švové svařování.
- Koutové svary.

Švové svařování bylo již v minulosti použito pro přivaření filtračních plechů 0,4 mm ke stěně scezovacích nádrží. Svařování bylo prováděno na robotickém zařízení s výkonovým laserem a on-line regulací teploty. Na zkušebním kuse byly provedeny zkoušky makrostruktury, mikrostruktury svarového kovu i TOO, včetně měření tvrdosti svaru i základního materiálu.

Makrostruktura příčného výbrusu svaru při hloubce provaření 0,9 mm je uvedena na následujícím obrázku (obr. 30).



Obr. 30: Makrostruktura příčného řezu švového svaru [22]

I když předložené výsledky zkoušek byly vyhovující, nebyla tato metoda vybrána, jelikož kvalita tohoto svaru je závislá na přesném slícování obou svařovaných materiálů. Vzhledem k tvaru přivařovaných filtračních plechů u tubusů a filtračních svící k trubce nelze tento požadavek vždy zajistit.

Pro výrobu tubusů případně i pro výrobu nových dílů byla vybrána metoda svařování laserem bez použití přídavného materiálu. Svaření štěrbinového plechu s pláštěm tubusu a s těsníci víky na konci tubusu je prováděno metodou 521-laserové svařování dle ČSN EN ISO 4063. Koutové svary (obr. 32, detail B) jsou prováděny na svařovacím zařízení VISION Laser LWI IV (obr. 31).



Obr. 31: VISION Laser LWW IV.

Tabulka 3: Technické parametry svařovacího zařízení VISION Laser LWI IV

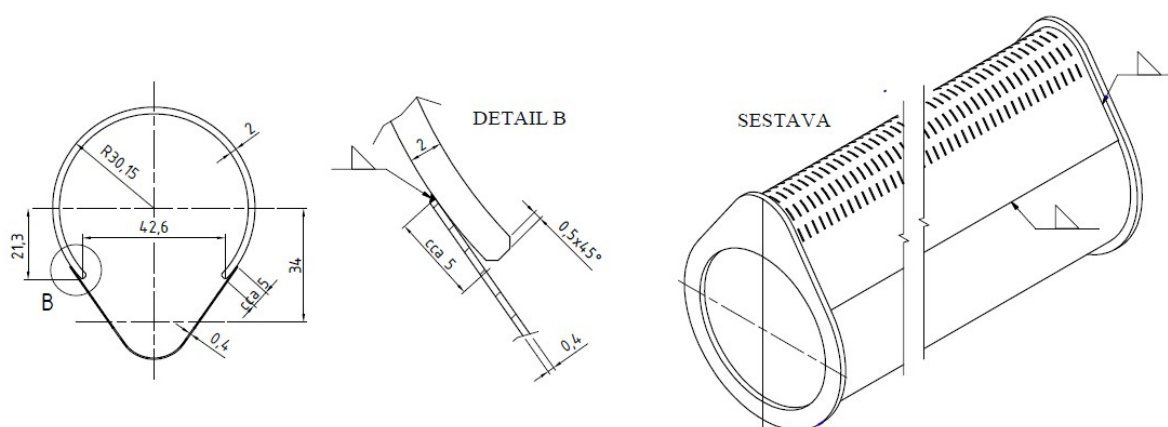
TYP LASERU	Nd:YAG	DÉLKA PULZU	0,5÷20ms
ZDROJ LASERU	Lampa F243	FREKVENCE OPAKOVÁNÍ	Jednotlivé impulzy do 20Hz
VLNOVÁ DÉLKA	1064 nm	SYSTÉM VYCHÝLOVÁNÍ SVAZKU	Zrcadlový
DRUH PROVOZU	Pulzní laserový systém	REGULACE ENERGIE	Pulzně šířkový modulátor PWM v rozsahu 1 ÷ 100%
MAX. STŘEDNÍ VÝKON	200W	FORMOVÁNÍ PULZU	Volně programovatelné
MAX. IMPULZNÍ ENERGIE	100J	SYTÉM MĚŘENÍ ENERGIE	Integrované
MAX. IMPULZNÍ VÝKON	10kW	MIKROSKOP	Leica Top s okulárem 20x
OHNISKOVÁ VZDÁLENOST	190mm	CHLAZENÍ	Výměník typu voda/voda
PRŮMĚR BODU	200μm ÷ 2,5mm	NAPÁJENÍ	380 Volt / 50/60Hz / 8kW

Jedná se o laser typu Nd-YAG, pulzní laserový systém. Technické parametry zařízení jsou uvedeny v tabulce 3. Základní parametry svařování tubusu jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 4. Podrobné údaje svařovacího procesu jsou uvedeny ve vypracované WPS, která je přílohou č.1 této práce.

Tabulka 4: Základní parametry svařování tubusu

Energie pulzu[J]	Délka pulzu [ms]	Průměr paprsku [mm]	Pracovní vzdálenost [mm]	Frekvence pulzů [Hz]	Rychlost svařování [m/min]	Ochranný plyn
80	6	0,8	190	11	0,07	Ar

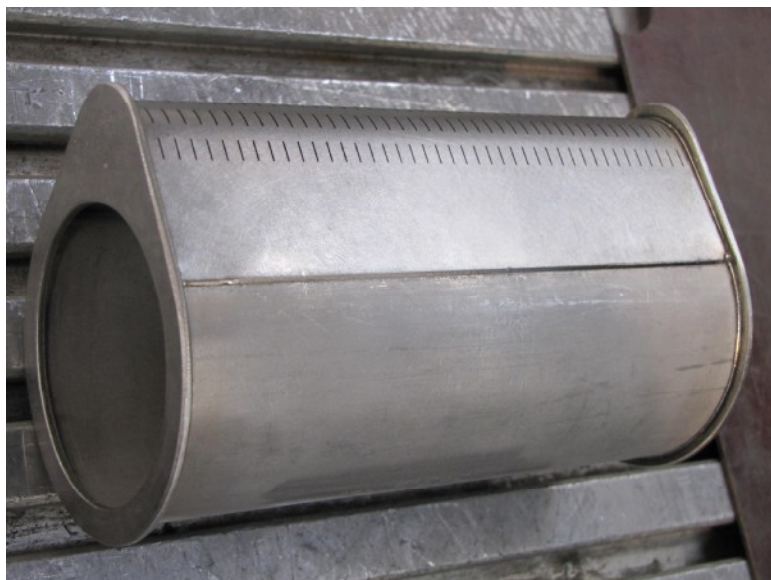
Tubus je svařenec pláště tubusu s filtračním plechem a ukončovacími víky. Plášť tubusu je vyroben z trubky jakosti 1.4541 a Ø60,3/2 mm seříznutím vrchlíku trubky. Vyříznuté místo je překryto přivařeným filtračním plechem jakosti 1.4541, tl. 0,4 mm se štěrbinami 0,3x4 mm. K plášti tubusu jsou z obou stran přivařena odlišná víka. Z jedné strany je přivařeno těsnící víko a z druhé strany víko mezikruhové, které umožňuje nasazení tubusu na poškozenou sběrnou trubku s původním filtračním plechem. Štěrbínový plech je k plášti a víkům přivařen laserovým svařováním koutovým svarem. Zbývající svary pláště a montážní svary budou prováděny ručním způsobem metodou WIG. Tvar seříznutého pláště tubusu s detailem přivaření štěrbinového plechu je znázorněn na obr. 32.



Obr. 32: Tubus

Celý svařenec tubusu je zkompletován až při samotné montáži přivařením utěšňovacích vík k plášti tubusu a k opravovanému sběrnému rameni. Montážní svary budou prováděny metodou WIG, přídatný materiál Sv-04Ch19N11M3, nebo elektrodou OK 63.35.

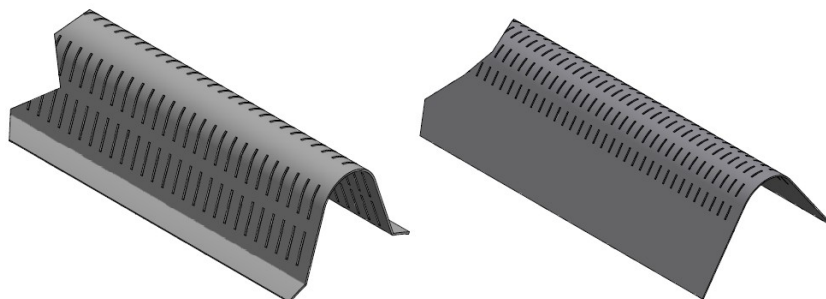
Pro zajištění vyměnitelnosti musí být každý vyrobený kus tubusu odzkoušen na kontrolním kusu. Vyrobené tubusy (obr. 33) jsou určeny k opravě sběrných trubek pouze u filtrů s demontovatelným filtračním křížem tj. filtrů Ø1000 mm.



Obr. 33: Vyrobený tubus

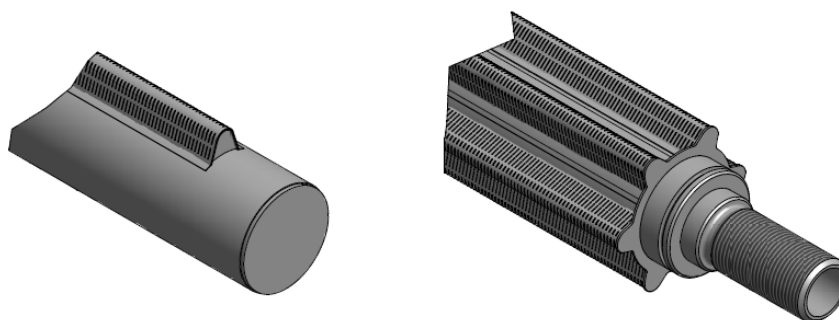
Filtrační plechy pro výrobu tubusů, případně i pro výrobu nových částí ionexových filtrů a filtračních svící lapačů jsou vyráběny z připravených polotovarů plechu tl. 0,4 mm určené šířky a délky. Laserem, nebo kombinací vodního paprsku s laserem, je do těchto polotovarů vyřezáno pět řad filtračních štěrbin šířky dle požadavku provozovatele a podle způsobu jejich použití (tubusy, sběrné trubice, filtrační svíce). Po výrobě filtračních štěrbin je filtrační plech vytvarován do požadovaného tvaru lisováním do pryže.

Tvar používaných filtračních plechů při výrobě tubusů, sběrných ramen a filtračních svící je znázorněn na obr. 34.



Obr. 34: Tvary filtračních plechů.

Tvar sběrných ramen a filtračních svící lapačů s přivařenými filtračními plechy je znázorněn na obr. 35.



Obr. 35: Sběrná trubka filtru vlevo a filtrační svíce lapače ionexu vpravo.

5. PROVEDENÉ ZKOUŠKY A KONTROLY

Kvalita provedených koutových svarů laserovým svařováním při výrobě pláště tubusu byla ověřena provedením následujících kontrol a zkoušek:

- Vizuální kontrola.
- Kontrola prozářením.
- Kontrola kapilární metodou.
- Zkouška pevnosti svaru tahem.
- Chemická analýza.
- Metalografické ověření kvality svarů se zaměřením na místa indikovaná kapilární metodou a vizuální kontrolou.
- Odolnost proti mezikrystalové korozi.

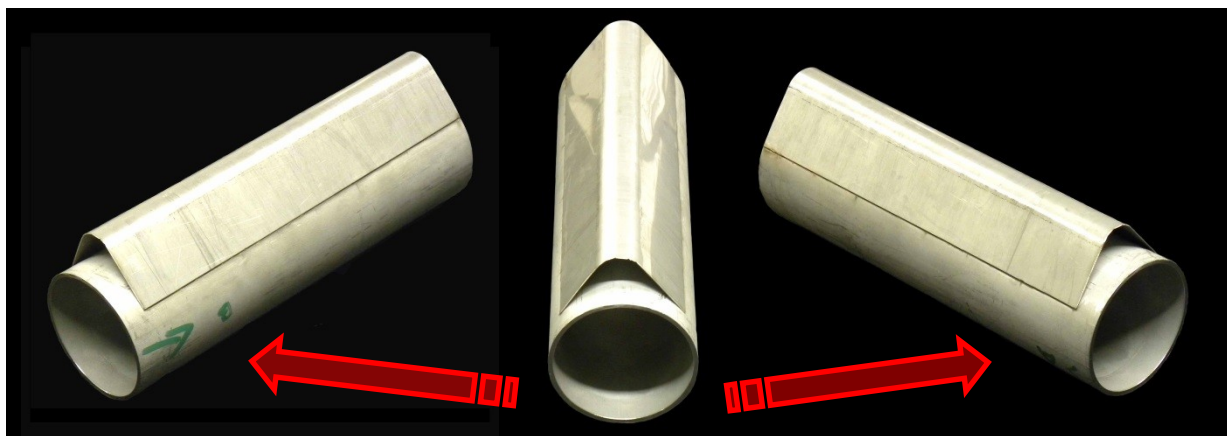
Uvedené zkoušky a kontroly byly provedeny v laboratořích firmy Tediko s.r.o. za odborného vedení a spolupráce jejich pracovníků. Tato firma zajišťuje provádění nedestruktivních kontrol zařízení jaderných elektráren a dle požadavku provádí metalografické ověření příčin vzniku porušení a vad v materiálech.

Pro laboratorní hodnocení svarového spoje byla vyrobena část odpovídající pláští tubusu, která byla svařena dle WPS (příloha č.1). Pro zjednodušení byl zkušební vzorek vyroben z neseříznuté trubky, přivařený plech nebyl děrován a odpovídá tvarem i rozměry přivařovanému filtračnímu plechu na tubusu.

5.1 VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ

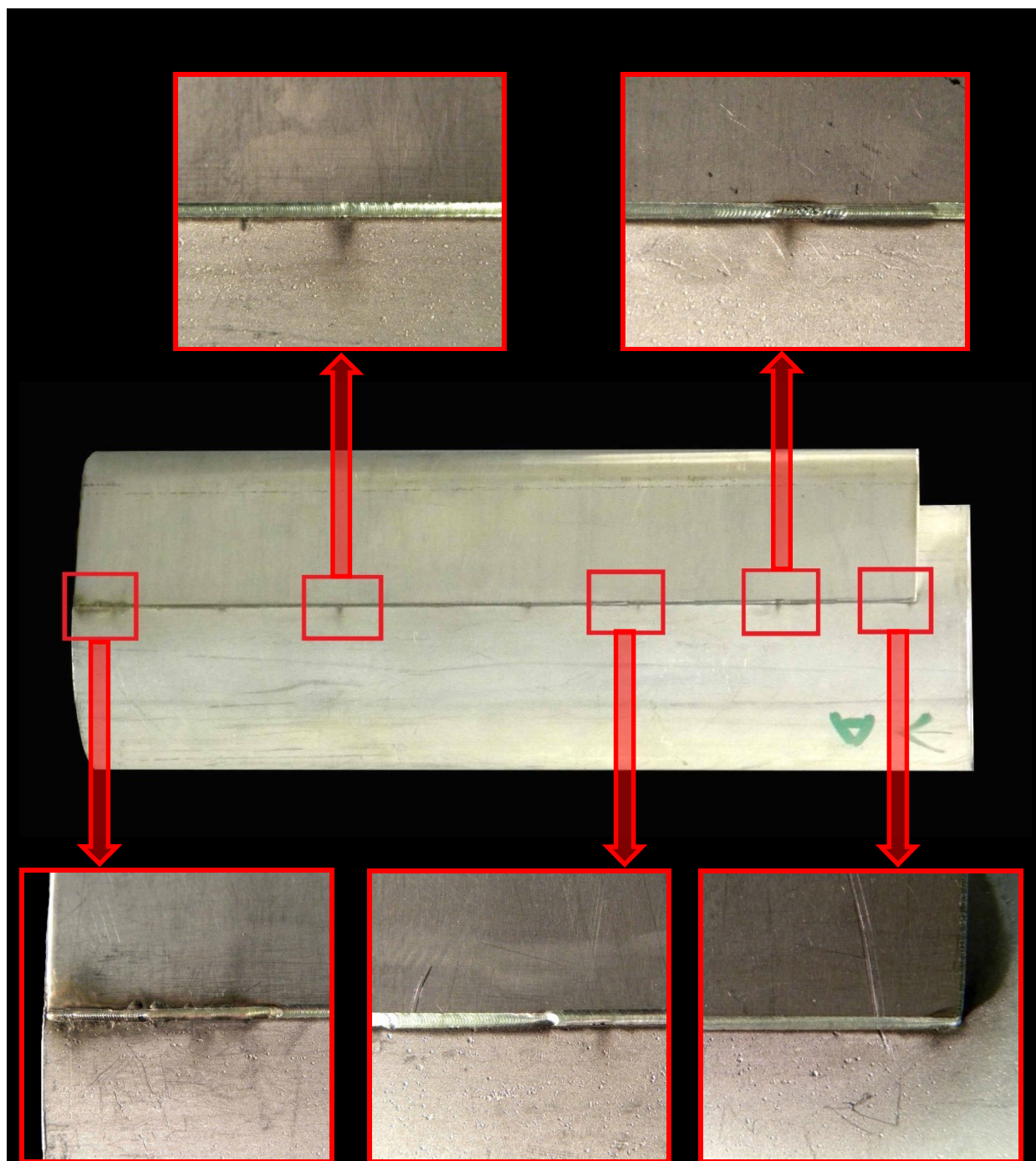
Před provedením vizuální kontroly a pro usnadnění všech následujících kontrol byla provedena identifikace jednotlivých stran a jejich označení strana A a strana B. Označení je patrné na obr. 36.

Na základě vizuálního hodnocení byly ze strany A a B vybrány pro provedení metalografického ověření místa, na kterých jsou patrné drobné zápaly, které se projevují tmavým zabarvením v oblasti svaru. V těchto místech byl plech k trubce přichycen bodovými svary a následně převařen průběžným svarem.



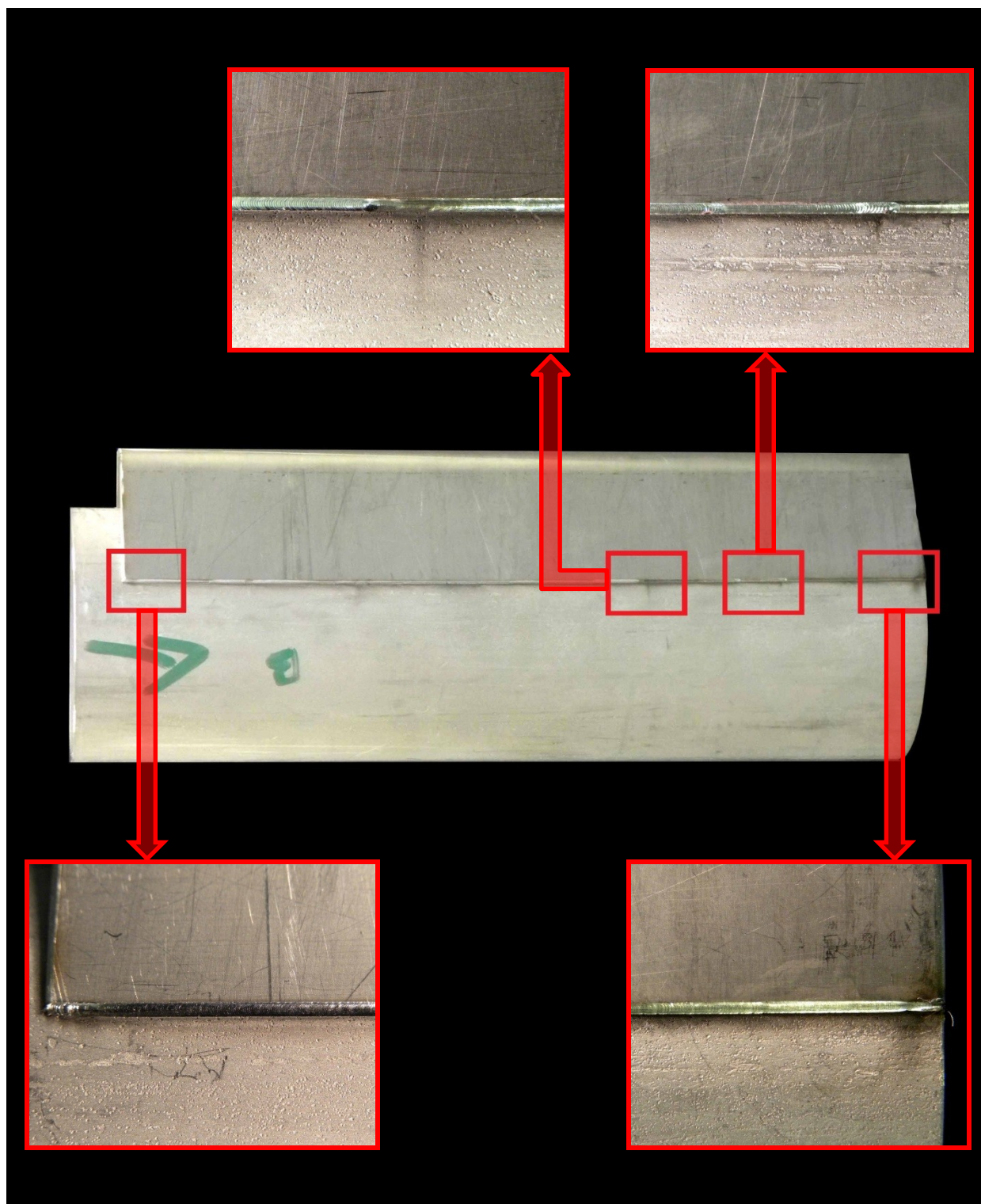
Obr. 36: Zkušební vzorek

Místa přichycení a jejich detaily ze strany A jsou znázorněny na obr. 37.



Obr. 37: Detaily svarového spoje – strana A

Místa přichycení a jejich detaily ze strany B jsou znázorněny na obr. 38. I z této strany jsou v detailu zachyceny koncové části svaru a místa v oblasti „přichytných“ svarových bodů. Přichytné body byly provedeny za účelem ustavení filtračního plechu do požadované polohy vzhledem k trubce a vymezení vzájemné vzdálenosti.



Obr. 38: Detaily svarového spoje – strana B

5.2 RADIOGRAFICKÉ ZKOUŠENÍ

Zkouška prozářením byla provedena dle normy ČSN EN 1435-B. Hodnocení svarových spojů bylo provedeno dle normy ČSN EN 12 517-1 a oba svary vyhovují do stupně přípustnosti 1. Na obr. 39 a 40 jsou snímky, dle kterých bylo hodnocení provedeno. Na snímcích je patrné místo přivaření šterbinového plechu.



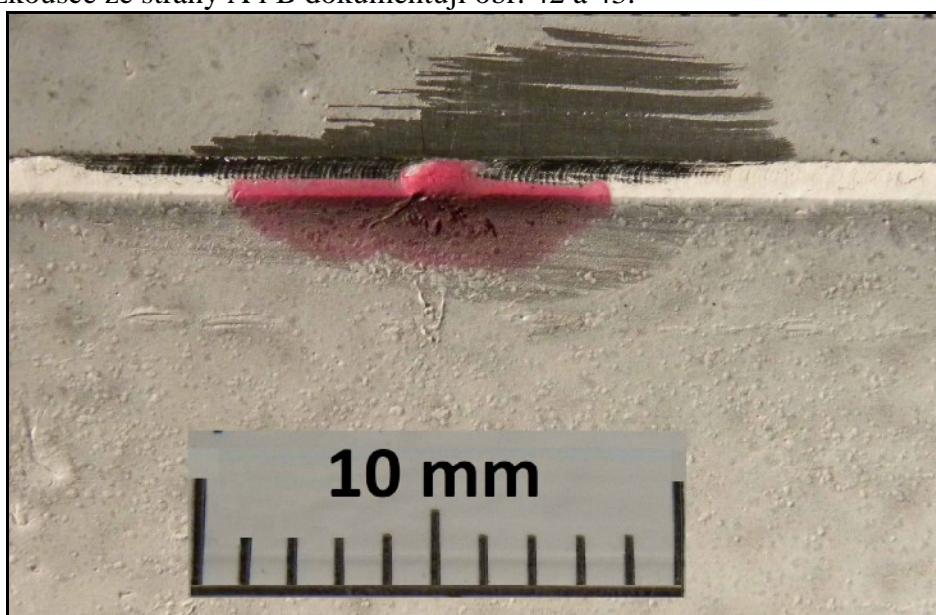
Obr. 39: Prozáření svarového spoje – strana A



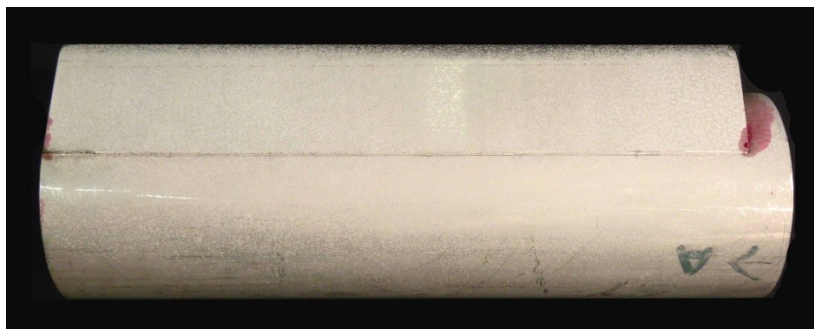
Obr. 40: Prozáření svarového spoje – strana B

5.3 ZKOUŠKA KAPILÁRNÍ METODOU

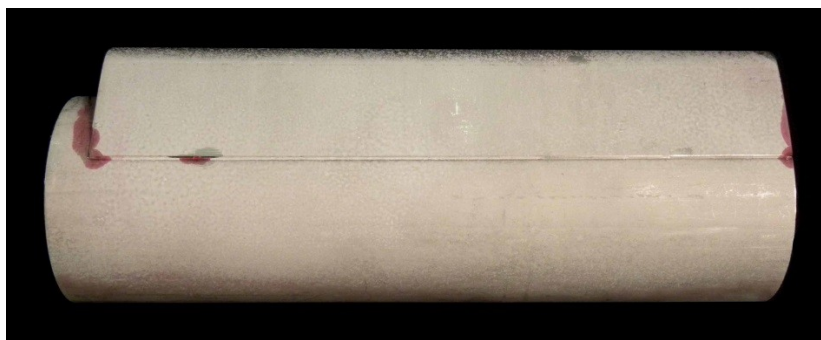
Kapilární zkouška byla provedena penetrantem DIFFU-THERM BDR, čas penetrace 15 minut, čistič DIFFU-THERM BRE. Po očištění byla nanесena vývojka DIFFU-THERM BEA, doba vyvolávání 10 minut. Kapilární zkouškou byla ve svarovém spoji nalezena na straně B jedna lineární indikace o délce cca 1 mm (obr. 41). V místě nalezené indikace nebyl při vizuálním hodnocení zaznamenán zápal vzniklý při bodování, ale jak je patrné na obr. 41 je v dané oblasti patrný jiný tvar povrchu svaru. Celkový pohled na svařenec po provedené kapilární zkoušce ze strany A i B dokumentují obr. 42 a 43.



Obr. 41: Lineární indikace – strana B



Obr. 42: Kapilární zkouška – strana A

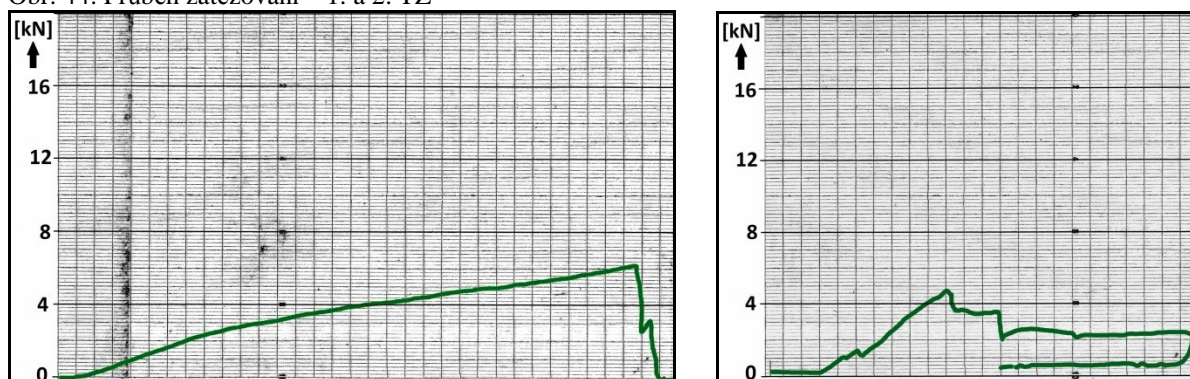


Obr. 43: Kapilární zkouška – strana B

5.4 ZKOUŠKA TAHEM

Zkouška tahem byla provedena za účelem ověření pevnosti svaru, jako náhrada namáhání svaru vnitřním přetlakem v době provádění kypření a promývky ionexové náplně. Pro zkoušku tahem byla uříznuta část svařence o délce 50 mm. Tento výřez byl uchycen do trhacího stroje EU 40 pomocí speciálně vyrobeného přípravku. U první provedené zkoušky došlo při zatížení 6,1 kN k porušení přípravku. Ten byl následně navržen a zhotoven pevnější a celá zkouška se opakovala na stejném již mírně deformovaném vzorku. U druhé zkoušky došlo při zatížení 4,8 kN k porušení přivařeného plechu. Průběhy zatěžování z obou zkoušek vystihují grafy na obr. 44.

Obr. 44: Průběh zatěžování – 1. a 2. TZ



Při vizuální prohlídce zkoušeného deformovaného vzorku svarový spoj nejevil žádné známky závažného poškození. Na obr. 45 je pro představu přibližně znázorněno uchycení již porušeného vzorku i deformovaného přípravku po zkoušce tahem. Porušení plechu dokumentují obrázky 46. Porovnání změny tvaru původního profilu svařence s profily po provedení obou zkoušek tahem dokumentuje obr. 47.

Obr. 45: Uchycení vzorku

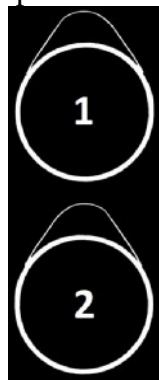


Obr. 46: Porušený vzorek



Obr. 47: Porovnání tvaru profilu před a po zkoušce tahem

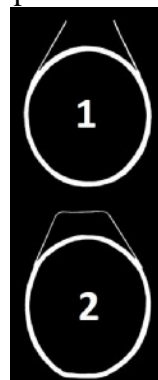
původní tvar profilu



po 1. zkoušce tahem



po 2. zkoušce tahem



5.5 CHEMICKÁ ANALÝZA

Zkušební vzorek byl vyroben z materiálu bez požadovaných atestů. Pro ověření složení materiálu byla provedena chemická analýza metodou atomové emisní spektrometrie (AES) přístrojem ARC – MET 8000 dle směrnice LAB-CHA-PP002.

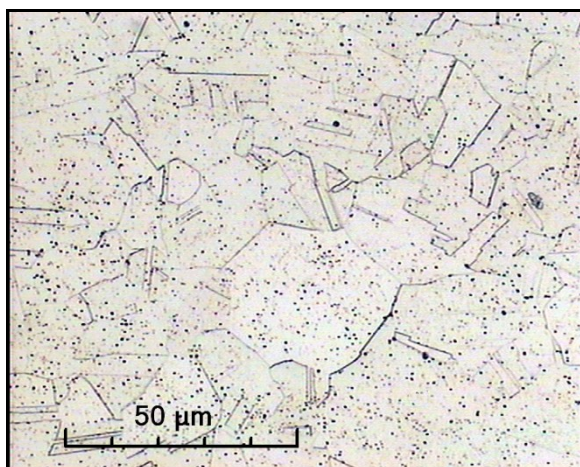
Tabulka 5: Chemická analýza vzorku

vzorek	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Al	%V	%Ti
trubka	0,06	1,73	0,48	0,017	0,013	17,2	11,40	0,30	0,36	0,022	0,07	0,38
plech	0,04	1,28	0,44	0,023	0,013	17,4	9,51	0,35	0,48	0,020	0,08	0,39
1.4541	max. 0,08	max. 2,00	max. 1,00	max. 0,045	max. 0,015	17,0- 19,0	9,00- 12,00	-	-	-	-	5x %C- 0,70

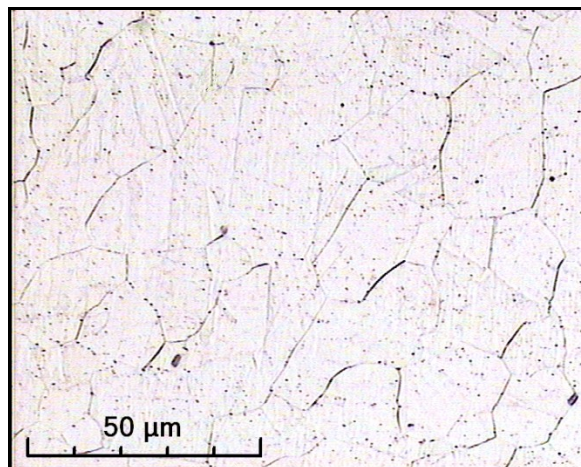
U trubky i plechu bylo chemickou analýzou potvrzeno, že se jedná o předpokládaný materiál 1.4541.

5.6 METALOGRAFICKÉ HODNOCENÍ

Struktura základního materiálu trubky i plechu je austenitická s vyloučenými karbidy typu $M_{23}C_6$ na hranicích zrn i v austenitické matici (obr. 48 a 49).



Obr. 48: Struktura trubky (500x)

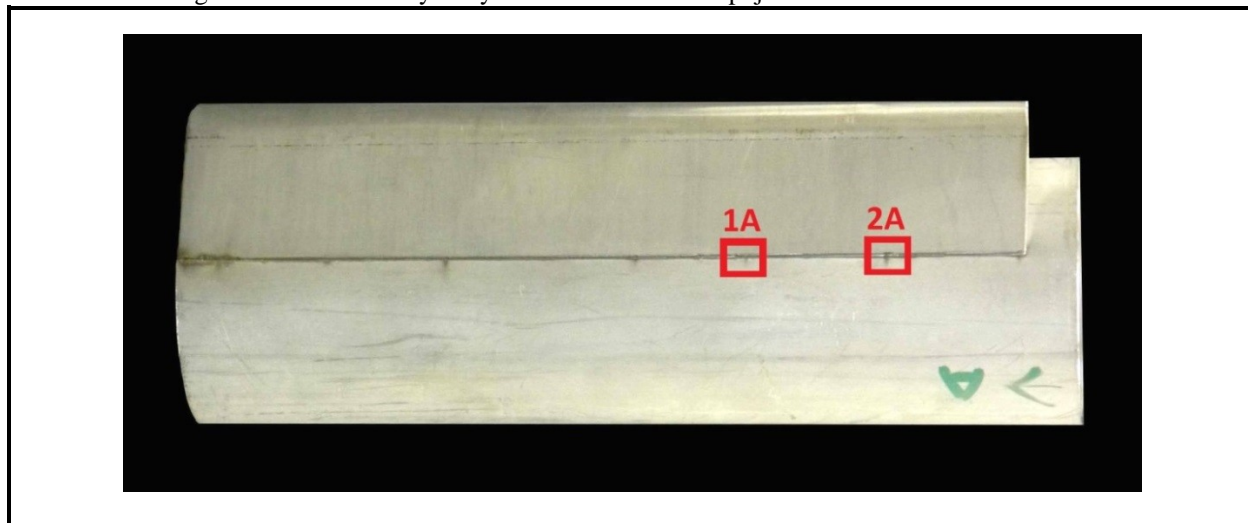


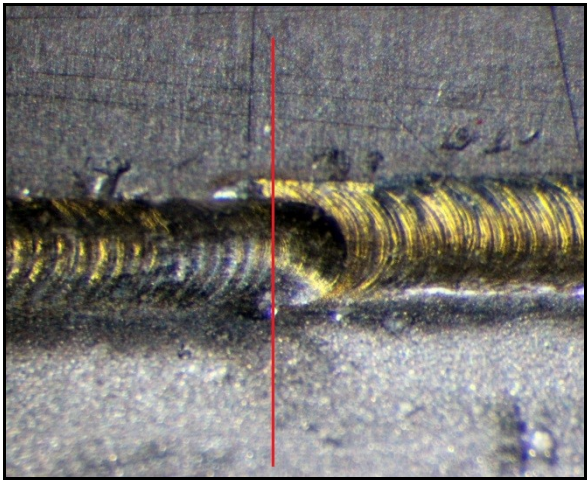
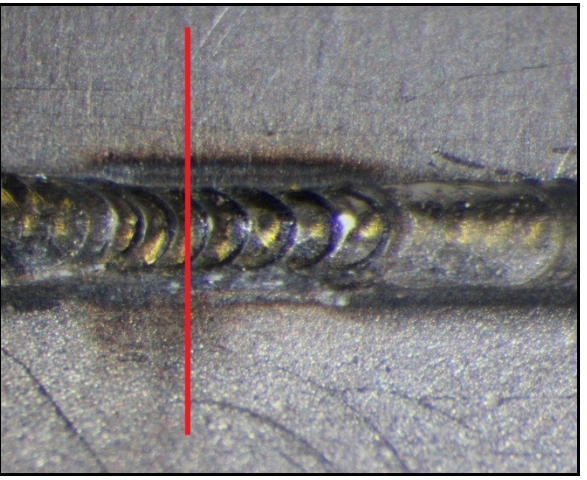
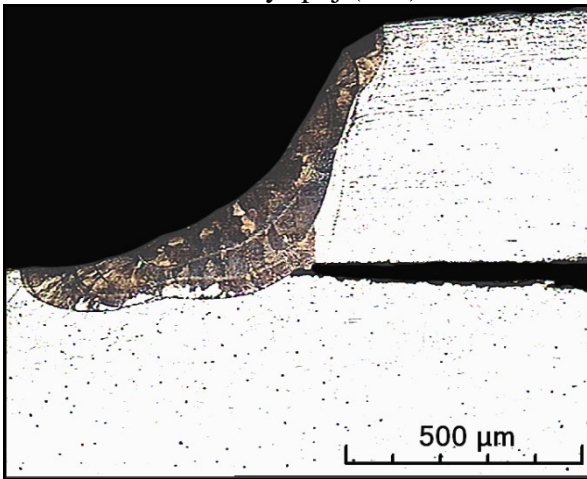
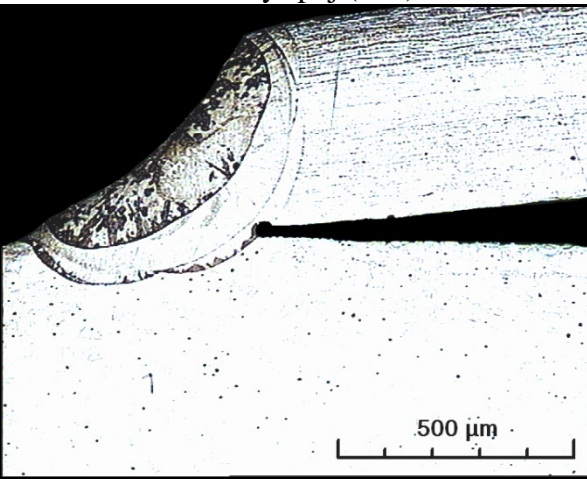
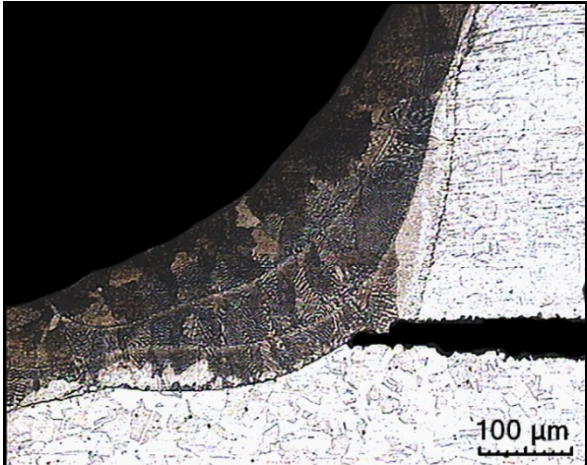
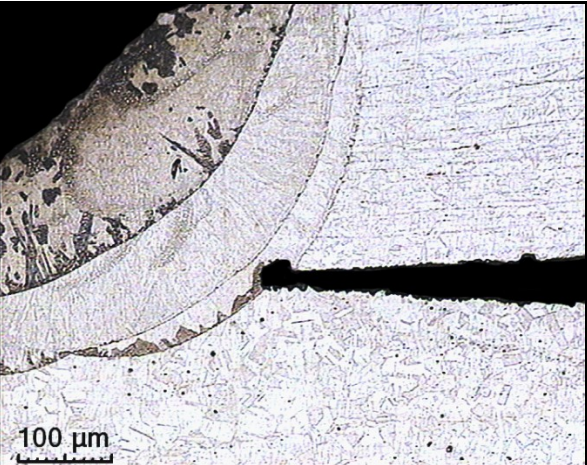
Obr. 49: Struktura plechu (500x)

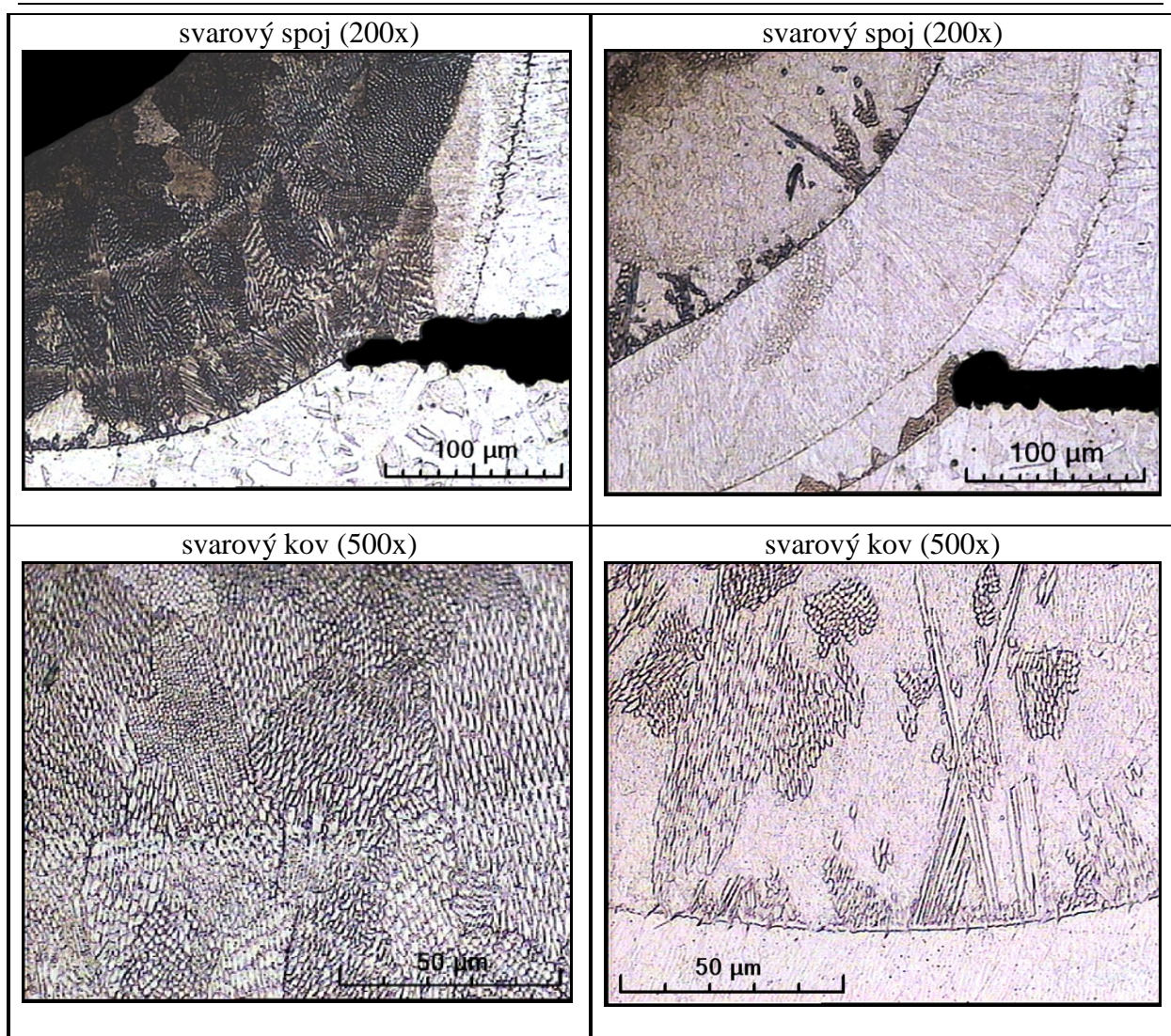
Pro metalografické hodnocení svarového kovu byly vybrány oblasti, ve kterých byly při vizuální a kapilární kontrole zjištěny nálezy.

Podrobná fotodokumentace s popisem vybraných částí svarového spoje ze strany A je na obr. 50. Ze strany A se jednalo o oblasti označené 1A a 2A. Obě oblasti dokumentují oblast nepravidelného svarového spoje v blízkosti příchytého svarového bodu (obr. 50, 1A) a oblast v příchytém bodě (obr. 50, 2A). Svarový spoj v těchto oblastech vykazuje dva typy austenitické lící struktury. Část objemu je tvořena typickou austenitickou lící, kolumnární strukturou. Jedná se o tzv. sloupkovitou strukturu s orientací zrn ve směrech intenzivnějšího odvodu tepla (oblast 1A). Část objemu pak vykazuje směsnou austenitickou lící strukturu se zřetelnými hranicemi původního austenitu. Tato struktura je kombinací kolumnární struktury a struktury u které se tvoří hranice, jejichž tvar připomíná hranice zrn základního materiálu s částečným výskytem zbytků hranic zrn kolumnární struktury (oblast 2A).

Obr. 50: Metalografické hodnocení vybraných oblastí svarového spoje – strana A

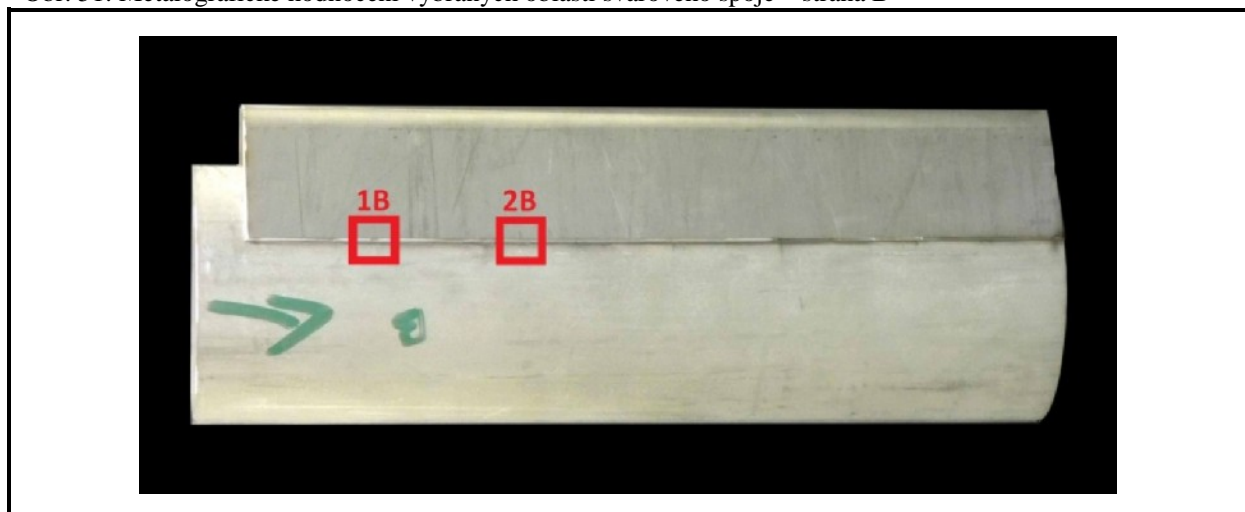


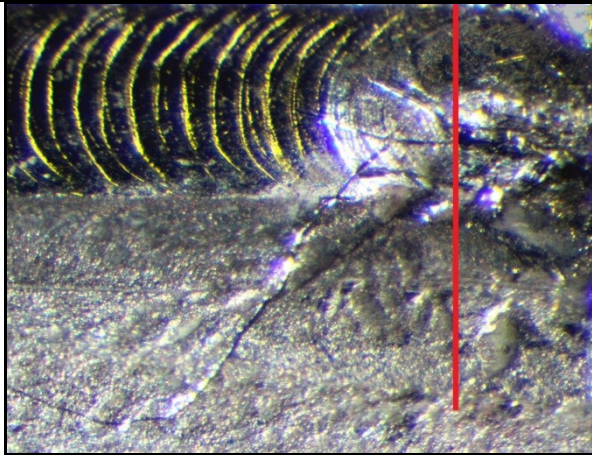
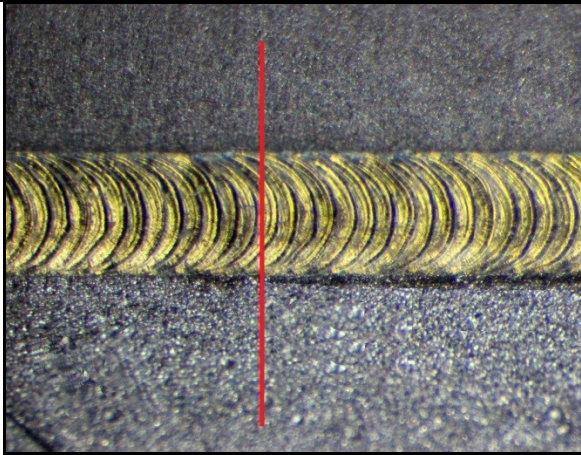
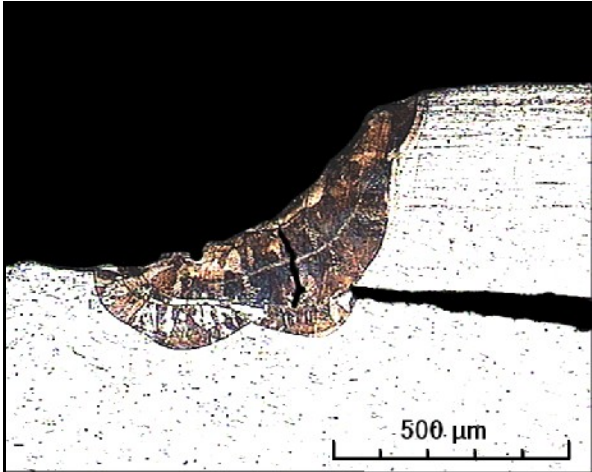
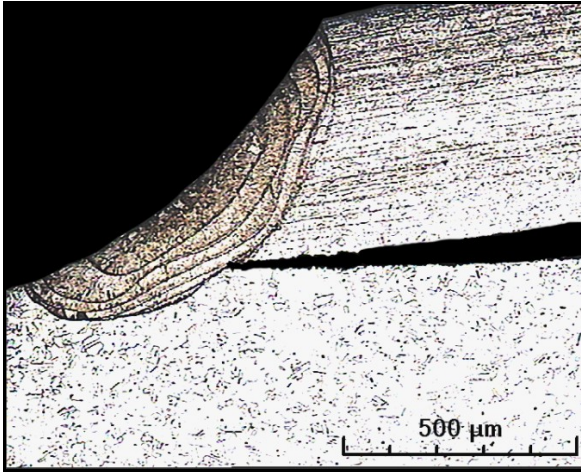

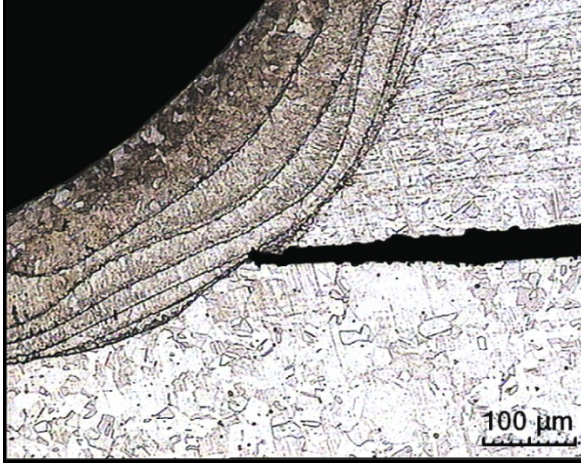
1A	2A
oblast nepravidelného svarového spoje v blízkosti původního „přichytného“ svarového bodu	oblast nepravidelného svarového spoje v původním „přichytném“ svarovém bodu
	
svarový spoj (50x) 	svarový spoj (50x) 
1A svarový spoj (100x) 	2A svarový spoj (100x) 

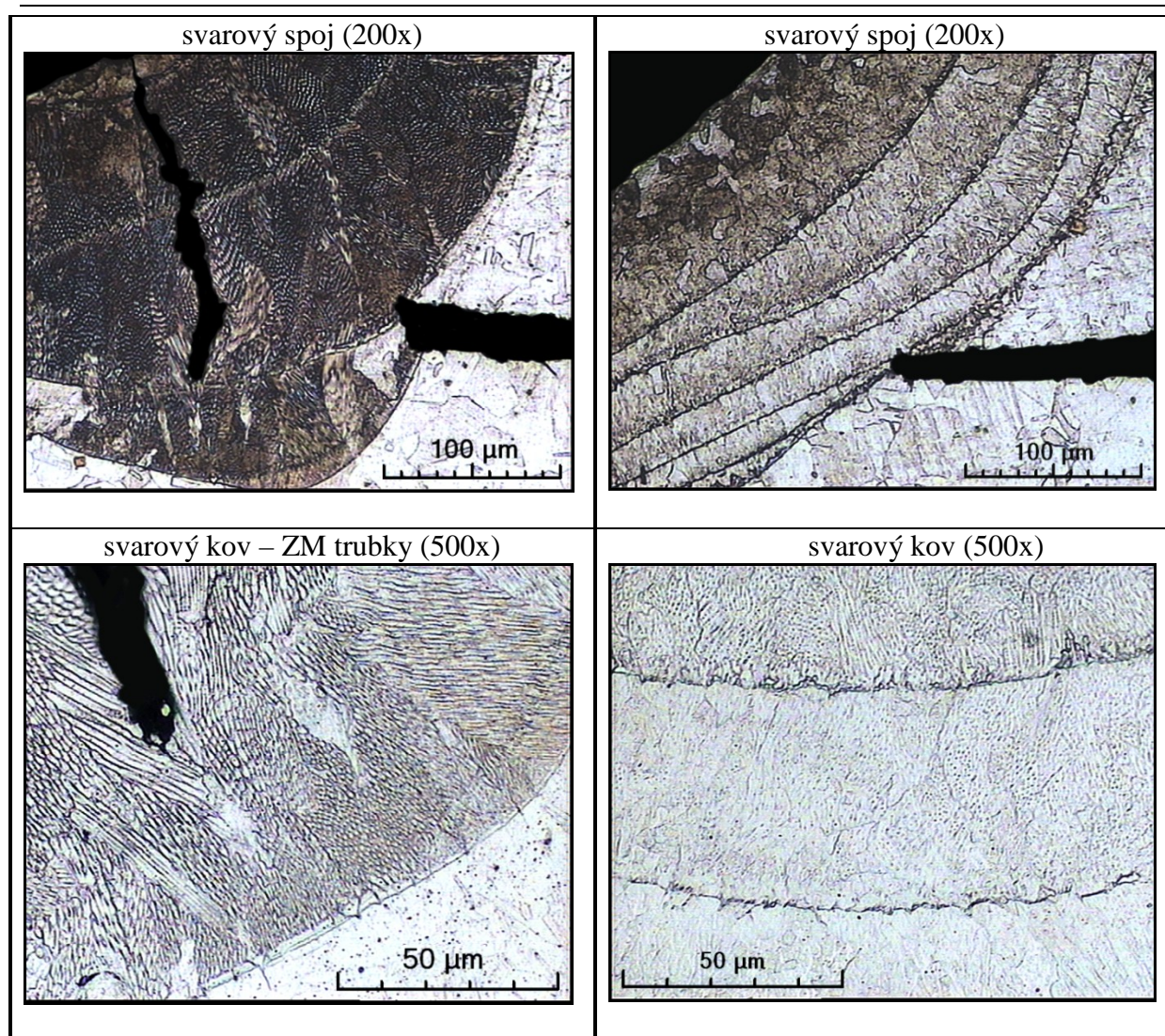


Ze strany B byly pro metalografické hodnocení vybrány oblasti s nalezenou lineární indikací (obr. 51, 1B) a pro porovnání struktury svaru oblast neporušeného a pravidelného spoje (obr. 51, 2B). V oblasti 1B byla potvrzena existence trhliny, která odpovídá nálezu zjištěnému kapilární metodou.

Obr. 51: Metalografické hodnocení vybraných oblastí svarového spoje – strana B



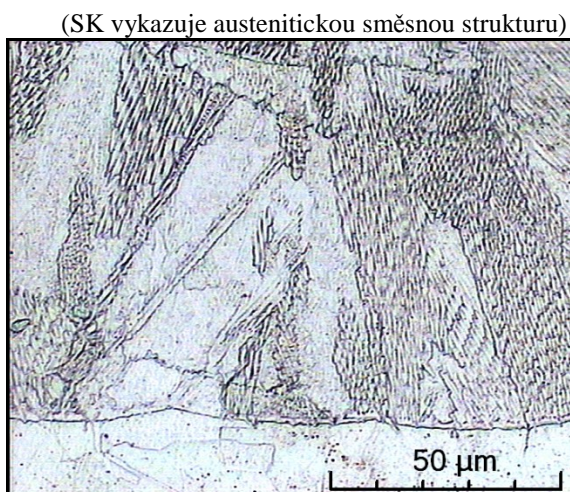
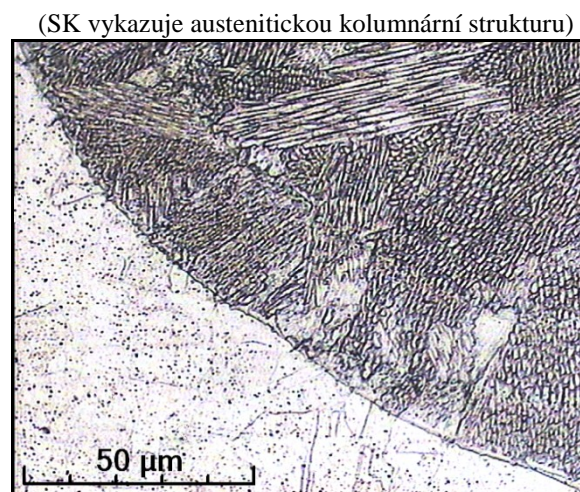
1B	2B
oblast s nalezenou lineární indikací –	oblast neporušeného a pravidelného svarového spoje
	
svarový spoj (50x)	svarový spoj (50x)
	
1B	2B
svarový spoj (100x)	svarový spoj (100x)
	



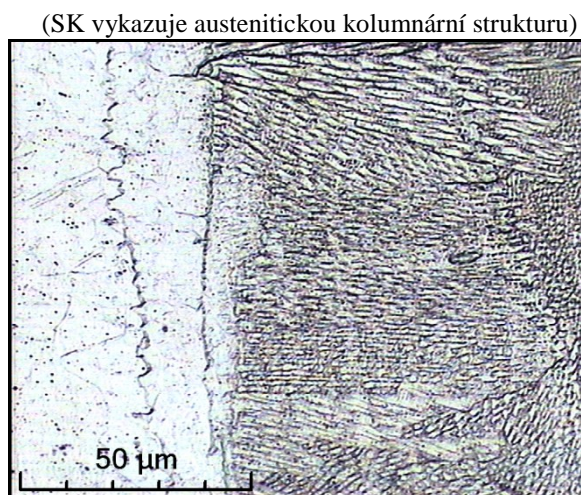
Na obr. 52 až 57 jsou zdokumentovány přechodové oblasti mezi základním materiálem (trubky, plechu) a svarovým kovem. Přechodové oblasti jsou velmi úzké. Pro svarový kov jsou na obr. 52 až 55 uvedeny typy licích struktur.

Obr. 52: ZM trubky – SK (500x)

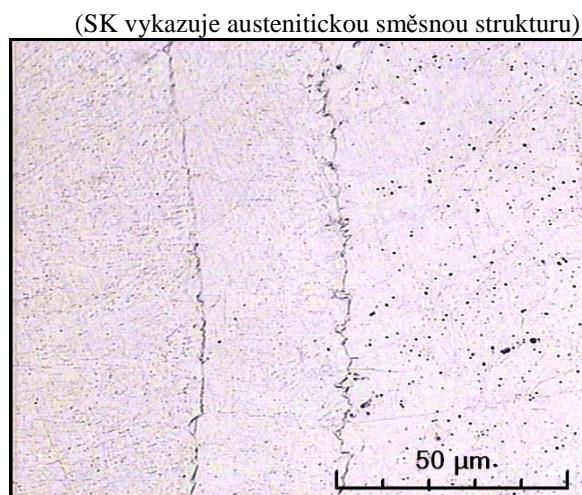
Obr. 53: ZM trubky – SK (500x)



Obr. 54: ZM plechu – SK (500x)



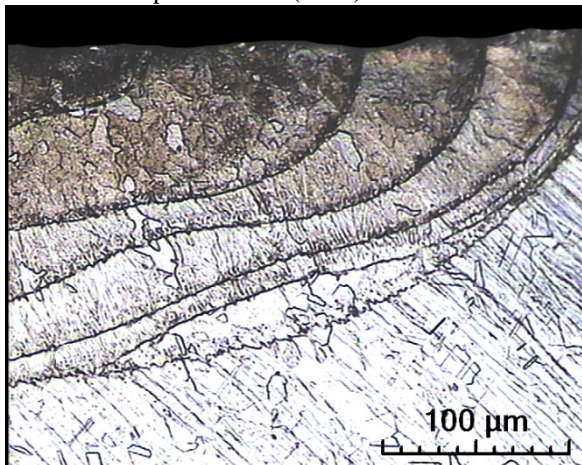
Obr. 55: ZM plechu – SK (500x)



Obr. 56: ZM trubky – SK (200x)



Obr. 57: ZM plechu – SK (200x)



5.7 ZKOUŠKA ODOLNOSTI PROTI MEZIKRYSTALOVÉ KOROZI

Vzorek určený pro zkoušku odolnosti proti mezikrystalové korozi na obr. 58 byl exponován ve vroucí lázni, obsahující CuSO_4 , H_2SO_4 a vodu, dle ČSN 03 8169 – metoda A. Vzorek byl zasypán vrstvou měděných hoblin a doba varu byla 8 hodin. Před expozicí nebyl vzorek tepelně upravován. Zkouška byla provedena dle směrnice LAB-KOR-PP002. Pro ilustraci je na obr. 59 dokumentováno použité zařízení.

Pozn.: Metoda A je zrychlená varianta metody 1 dle ČSN 03 8169.

Obr. 58: Vzorek



Obr. 59: Použité zařízení



Následné vyhodnocení bylo provedeno stereomikroskopem při zvětšení až 80x, bez nálezů mezikrystalového porušení svarového spoje, který je po provedené zkoušce zdokumentován na obr. 60. Svarový spoj vyhověl zkoušce odolnosti proti mezikrystalové korozi dle ČSN 03 8169.

Obr. 60: Foto při zvětšení 80x

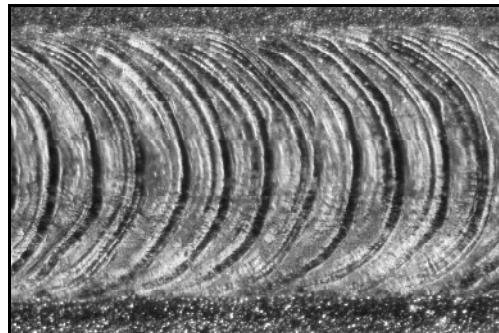
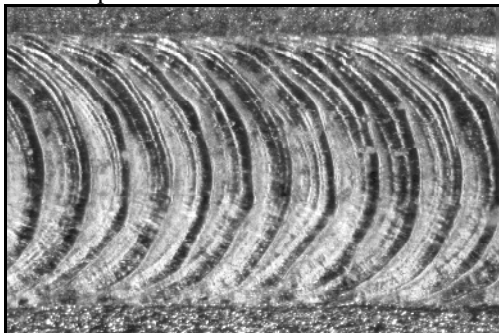


Foto při zvětšení 40x

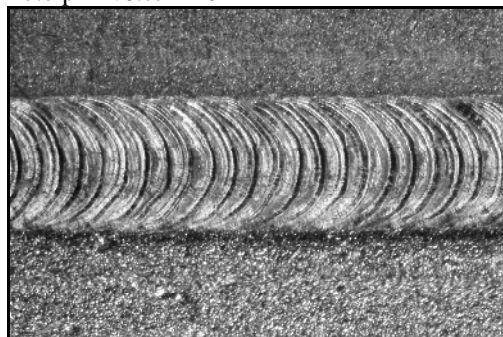
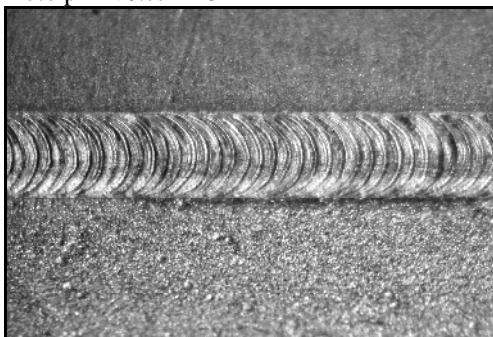


Foto při zvětšení 25x



5.8 VÝSLEDKY PROVEDENÝCH KONTROL A ZKOUŠEK

Při posuzování příčiny vzniku trhliny bylo provedeno nové ověření rtg snímků svarového spoje. Při novém přehodnocení nebyla vada na snímku jednoznačně potvrzena. Dále bylo provedeno posouzení kresby svaru (obr. 41) a hlavně na detailním obrázku oblasti s nalezenou lineární indikací (obr. 51, 1B). Ze změny v kresbě svaru lze usuzovat, že v daném místě byl proces svařování přerušen a následně znovu zahájen. Tento průběh dvojího natavení dané oblasti dokumentují i detailní obrázky struktury svaru na kterých je zřetelně vidět „dva kořeny“ svaru. Při novém zahájení procesu svařování mohlo dojít k přehřátí oblasti a vzniku trhliny. Austenitické materiály typu 1.4541 jsou náchylné k trhlínám za tepla. Tyto trhliny vznikají v tepelném rozmezí 1250°C–800°C. Pro zamezení vzniku zjištěných vnitřních vad svaru je nutno dbát ve zvýšené míře na rovnoměrnost pohybu při svařování a nepřerušovat proces svařování.

Při zkoušce tahem došlo k porušení přípravku při dosažení 6,1 kN. Svar není považován za tlakový a za provozu je namáhaný vnitřním tlakem pouze krátkodobě při regeneraci a kypření ionexové náplně. Maximální přípustný tlak při kypření 0,3 MPa. Pro zatížení svaru tímto tlakem je dosažená hodnota 6,1 kN dostatečně vyhovující.

Vyhodnocením provedených kontrol, zkoušek a metalografického hodnocení je možno konstatovat, že provedené zkoušky prokázaly vhodnost použité metody svařování pro výrobu náhradních dílů.

6. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Varianta celkové výměny vestavby u ionexového filtru Ø1500 mm není předmětem hodnocení, i když oprava bude podstatně nákladnější. Příprava této varianty byla ukončena ve stavu konstrukční a technologické připravenosti. Náhradní díly nejsou vyráběny.

Ekonomické hodnocení je provedeno pro variantu opravy ionexového filtru Ø1000 mm s demontovatelnou vestavbou pomocí tubusů.

1) Náklady na výrobu náhradních tubusů pro opravu filtračního kříže

Náklady na výrobu náhradních dílů – první ¼ filtračního kříže.....	220.000,-Kč
Náklady na každou další ¼ filtračního kříže.....	150.000,-Kč
Náklady na výrobu náhradních dílů pro celý filtrační kříž	670.000,-Kč

V ceně jsou zahrnuty:

- materiál 1.4541 pro všechny pozice tubusů,
- výroba tubusu ve velikostech M1 – M5,
- těsnící víka k daným tubusům,
- kontrolní vzorek pro ověření vyrobených tubusů,
- PTD dle vyhlášky č.132/2008 Sb. – BT3,
- kontroly a zkoušky dle vypracovaných PKZ.

Náklady na provedení celkové opravy vestavby je nutno navýšit ještě o náklady na provedení montážních prací. Dle odborné konzultace by provedení opravy spotřebovalo cca 100 pracovních hodin. Cena jedné hodiny práce montážního pracovníka je cca 350,- Kč. Oprava vyžaduje přítomnost tří pracovníků. Náklady na provedení montáže 35.000,- Kč

Náklady na provedení opravy včetně montáže cca705.000,- Kč

2) Náklady na výrobu nového ionexového filtru

Náklady na výrobu nového ionexového filtru Ø1000 cca.....1.345.000,- Kč

Vzhledem k umístění ionexových filtrů, v poloobslužných a neobslužných hermetických prostorech elektrárny, není montáž vždy realizovatelná.

3) Hodnocení

Ztráta zisku v případě neplánovaného odstavení jednoho výrobního bloku o výkonu 510MW je vyčíslena na 12.000.000 - 13.000.000 Kč/den. Výsledná částka je závislá na aktuální ceně elektrické energie.

Náklady na opravu jsou relativně vysoké a dosahují hodnoty 705.000,- Kč. na jeden filtr. Tato částka v porovnání se ztrátou zisku při neplánovaném odstavení bloku však dosahuje pouze 6% denní ztráty. Oprava ionexových filtrů pomocí tubusu je tedy pro JE vzhledem k možným ztrátám výhodná.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout provedení oprav provozovaných ionexových filtrů na jaderných elektrárnách. Pro opravy byly navrženy tři způsoby, podle rozsahu poškození a podle typu vestavby filtračního kříže ionexových filtrů. Jedná se o opravu netěsností třmenem, opravu poškozených filtračních plechů tubusem a při poškození celé vestavby její kompletní výměnou. Způsob provedení oprav byl projednán se správcí zařízení na jaderných elektrárnách, kteří navržené způsoby i postupy provedení oprav schválili v navrhovaném rozsahu. S ohledem na dosavadní provozní zkušenosti byl navržen rozsah a množství vyrobených náhradních dílů.

Součástí diplomové práce bylo také navržení a zajištění vyhovujících metod pro jejich výrobu. Navržené metody pak byly realizovány při výrobě zkušebních kusů filtračních plechů a při výrobě kompletních náhradních dílů. Pro zajištění svařování byla použita metoda laser zařízením VISION Laser LWI IV. Výroba filtračních plechů byla realizována řezáním laserem a řezáním kombinací vodního paprsku s laserem dle rozměru filtrační šterbiny.

Pro ověření jakosti svarových spojů byl vyroben zkušební vzorek a provedeny nedestruktivní i destruktivní zkoušky včetně metalografického ověření svarového spoje. Závady zjištěné při zkouškách byly vyhodnoceny, byla stanovena příčina jejich vzniku a bylo navrženo opatření na změnu procesu svařování vedoucí k jejich odstranění. Výrobce akceptoval navržené opatření a zajistil nepřerušovaný a rovnoměrný pohyb při svařování. Při následné výrobě tubusů i nových dílů pro filtry a lapače nebyl již při provedené kontrole kapilární metodou zjištěn výskyt indikací ve svarovém spoji u žádného svařeného kusu.

Ekonomické hodnocení prokázalo, že provedení oprav navrhovanými způsoby je i z hlediska ekonomického proveditelné a pro provozovatele výhodné.

V diplomové práci byly současně řešeny i problémy plynoucí z dalších požadavků na výrobu nových zařízení pro dostavbu jaderné elektrárny Mochovce. Provedenými zkouškami bylo prokázáno, že navržené metody lze plně využít i při výrobě nových částí ionexových filtrů a lapačů ionexů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů.* 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
- [2] *Provozní předpisy systémů čištění vod,* ČEZ EDU a.s., 1997, 1998, 1999
- [3] TURŇA, Milan a Pavel KOVAČOCY. *Zváranie laserovým lúčom.* Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2003. 90 s. ISBN 80-227-1921-8.
- [4] BENKO, Bernard, Peter FODREK et al. *Laserové technológie.* Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2000, 122 p. ISBN 80-227-1425-9.
- [5] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky.* 1. české vyd., 2. dotisk. Překlad Jan Obdržálek, Bohumila Lencová, Petr Dub. V Brně: Prometheus, 2006, vii, 1034-1198, [30]. ISBN 80-214-1868-0.
- [6] MRŇA, Libor a Jaroslav KUBÍČEK. Technické aspekty svařování laserem. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://svarak.cz/images/stories/pdf/Svarov%C3%A1ni%20laserem.pdf>
- [7] KUBÍČEK, Jaroslav. Technologie II - Svařování. : [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_2_svarovani_kubicek.zip
- [8] HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov.* 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-227-3167-6.
- [9] *Laser_microJet_technology_brochure* [online]. 2008 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.synova.ch/fileadmin/user_upload/pdf/Laser_microJet_technology_brochure.pdf
- [10] *Diagramme_schaeffler_text_zoom* [online]. 2011, 2011-12-22 23:43 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Diagramme_schaeffler_text_zoom.svg
- [11] Průmyslové lasery - Hlavní typy laserů v průmyslové praxi. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/content/image/gallery/2012-09_13_1346085136/lao_obr_02.jpg
- [12] Laserové svařování I. [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.lao.cz/obrazky/web/2377_uv.jpg
- [13] Laserové řezání. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.lao.cz/pictures/jpg/lao_info_preview/serial/13.png
- [14] Plazma - mikroplazmové svařování. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupná z: <http://www.schinkmann.cz/files/images/300/plazma1.JPG>
- [15] VEVERKA, Jan. Svařování mikroplasmou. [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/svarovani_mikroplasmou.html
- [16] VRBOVÁ, M. *Lasery a moderní optika.* 1. vyd. Praha: Prometheus, 1994, 474 s. ISBN 80-858-4956-9.

- [17] Průmyslové lasery - Hlavní typy laserů v průmyslové praxi. NOVÁK, Miroslav. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-4-hlavni-typy-laseru-v-prumyslove-praxi.html>
- [18] Základní principy laserů a jejich dělení. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.lao.cz/pictures/jpg/lao_info_preview/serial/1.jpg
- [19] Pardubický deník.cz. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://g.denik.cz/34/6d/dukovany_jaderna_elektrarna_denik-1024.jpg
- [20] HABÁN, Vladimír a Martin HUDEC. *Stanovení tlakové ztráty a průtočnosti lapačů ionexu pro velikost spáry 0,25 a 0,1 mm.lapačů ionexu*. VUT v Brně, 2010, 16 s.
- [21] *Kalibrační list*, Český metrologický ústav, Brno
- [22] *Protokol o zkoušce č.OP-480/2012*, MATEX PM, s.r.o., 2012
- [23] *Isibrno.cz* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné na: <http://www.isibrno.cz/kgs/komuzeum/prvni%20plynovy%20laser.jpg>
- [24] ČSN EN ISO 15613. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Kvalifikace na základě předvýrobní zkoušky svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [25] ČSN EN ISO 15609-4. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Stanovení postupu svařování - Část 4: Laserové svařování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2010.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ZKRATKA	JEDNOTKA	POPIS
AES		atomová emisní spektrometrie
BT		bezpečnostní třída
CuSO ₄		síran měďnatý
d	[mm]	průměr fokusovaného paprsku
d ₀	[mm]	průměr paprsku na výstupu z rezonátoru
DN	[mm]	jmenovitý průměr
d _p	[mm]	požadovaná šířka svaru
E	[J]	energie pulzu
E ₀	[J]	energie v základním stavu
E _m	[J/m ³]	energie potřebná na natavení jednotkového objemu
E _x	[J]	energie v excitovaném stavu
F	[Hz]	frekvence pulzů
Gy		jednotka absorbované dávky záření
H ₂ SO ₄		kyselina sírová
H ₃ BO ₃		kyselina boritá
h _p	[mm]	požadovaná hloubka svaru
JE		jaderná elektrárna
k	[m ² .s ⁻¹]	koeficient teplotní vodivosti
KOH		hydroxid draselný
NaOH		hydroxid sodný
PKZ		program kontrol a zkoušek
PTD		převodně technická dokumentace
R		koeficient reflexe
s	[mm]	poloha ohniska vzhledem k povrch materiálu
SČP		stupeň čistoty povrchu
SK		svarový kov
SÚJB		státní úřad pro jadernou bezpečnost
S _v		index dávkového ekvivalentu
TOO		tepelně ovlivněná oblast svaru
U ₂₃₅		izotop uranu
v	[m.s ⁻¹]	rychlost svařování
VF		vysokofrekvenční
WIG		obloukové svařování netavící se elektrodou
WPS		specifikace svařovacího postupu
ZM		základní materiál
τ	[ms]	délka pulzu
Θ		divergence paprsku
l	[mm]	vlnová délka záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Jaderná elektrárna Dukovany	10
Obr. 2: Ionexový filtr Ø1500 se zobrazenou vestavbou.....	13
Obr. 3: Ionexový filtr Ø1000 se zobrazenou vestavbou.....	14
Obr. 4: Lapač ionexu Ø450	15
Obr. 5: Ionexový filtr Ø1000 – filtrační kříž.....	16
Obr. 6: Detail ukotvení filtračního kříže	17
Obr. 7: Ionexový filtr Ø1500 - ukotvení filtračního kříže ke stěně filtru a hrdlu H2.	17
Obr. 8: Skutečný stav odstaveného filtru Ø1000	18
Obr. 9: Skutečný stav odstaveného filtru Ø1000	19
Obr. 10: První československý plynový laser	20
Obr. 11: Interakce záření s atomem v procesu absorpce.....	21
Obr. 12: Interakce záření s atomem v procesu spontánní emise	21
Obr. 13: Interakce záření s atomem v procesu stimulované emise	21
Obr. 14: Obecné schéma laseru.....	22
Obr. 15: Nd:YAG aktivní prostředí.....	23
Obr. 16: Kondukční svařování (vlevo) a penetrační svařování (vpravo)	23
Obr. 17: Tvar pulzu Nd - YAG	25
Obr. 18: Řezání laserem	27
Obr. 19: Princip metody	28
Obr. 20: Pracovní vzdálenost	28
Obr. 21: Laser (vlevo), Laser Microjet (vpravo).....	29
Obr. 22: Princip mikroplazmového svařování	31
Obr. 23: Schaefflerův diagram	31
Obr. 24: Oprava netěsnosti speciálním třmenem.	35
Obr. 25: Oprava ionexové filtru Ø1000 novým tubusem.....	36
Obr. 26: Výměna vnitřní vestavby ionexového filtru Ø1500.....	37
Obr. 27: Nárys a izometrický pohled na třmen	38
Obr. 28: Tvar filtrační štěrby.	39
Obr. 29: Štěrba 0,1 mm, zvětšení 10x, 30x	40
Obr. 30: Makrostruktura příčného řezu švového svaru.....	41
Obr. 31: VISION Laser LWW IV.	41
Obr. 32: Tubus.....	42
Obr. 33: Vyrobený tubus	43
Obr. 34: Tvary filtračních plechů.	43
Obr. 35: Sběrná trubka filtru vlevo a filtrační svíce lapače ionexu vpravo.	43
Obr. 36: Zkušební vzorek.....	44
Obr. 37: Detaily svarového spoje – strana A	45
Obr. 38: Detaily svarového spoje – strana B.....	46
Obr. 39: Prozáření svarového spoje – strana A	47
Obr. 40: Prozáření svarového spoje – strana B	47
Obr. 41: Lineární indikace – strana B	47
Obr. 42: Kapilární zkouška – strana A	48
Obr. 43: Kapilární zkouška – strana B	48
Obr. 44: Průběh zatěžování – 1. a 2. TZ	48
Obr. 45: Uchycení vzorku	49
Obr. 46: Porušený vzorek.....	49
Obr. 47: Porovnání tvaru profilu před a po zkoušce tahem	49
Obr. 48: Struktura trubky (500x)	50
Obr. 49: Struktura plechu (500x)	50

Obr. 50: Metalografické hodnocení vybraných oblastí svarového spoje – strana A.....	50
Obr. 51: Metalografické hodnocení vybraných oblastí svarového spoje – strana B.....	52
Obr. 52: ZM trubky – SK (500x)	54
Obr. 53: ZM trubky – SK (500x)	54
Obr. 54: ZM plechu – SK (500x)	55
Obr. 55: ZM plechu – SK (500x)	55
Obr. 56: ZM trubky – SK (200x)	55
Obr. 57: ZM plechu – SK (200x)	55
Obr. 58: Vzorek	55
Obr. 59: Použité zařízení.....	55
Obr. 60: Foto při zvětšení 80x	56


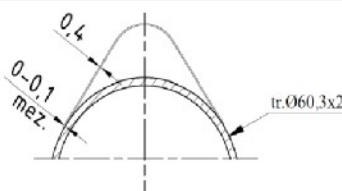
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Parametry řezání austenitických ocelí.....	27
Tabulka 2: Chemické složení svarového kovu – v hm.%	38
Tabulka 3: Technické parametry svařovacího zařízení VISION Laser LWI IV.....	41
Tabulka 4: Základní parametry svařování tubusu	42
Tabulka 5: Chemická analýza vzorku	49


SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 WPS 01/2013

PŘÍLOHA 1

 VUT BRNO		WPS		SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		ČÍSLO NUMBER:	REV. REV.	STRANA PAGE	Z OF
KVALIFIKACE PODLE QUALIFICATION ACC. TO		EN ISO 15613		PROTOKOLY O KVALIFIKACI SUPPORTING PQR (S)					
METODA SVAŘOVÁNÍ WELDING PROCESS		521 – LASER		TYP TYPE		MECHANIZOVANÉ Mechanized			
NÁČRT SPOJE SKETCH OF JOINT									
Rozměry Dimensions									
				TYP SVARU TYPE OF WELD		KOUTOVÝ SVAR FILLET WELD			
ROZSAH TLOUŠTĚK SVAŘOVÉHO KOVU WELD METAL THICKNESS RANGE									
TLOUŠTKA SVARU DO ÚKOSU GROOVE WELD THICKNESS NA [mm]		VÝŠKA KOUTOVÉHO SVARU FILLET WELD THROAT 0,2÷0,3 [mm]		PODLOŽENÍ: <input type="checkbox"/> ANO <input type="checkbox"/> NE PODLOŽKY: YES NO BACKING MATERIAL		MATERIÁL -			
PŘÍPRAVA ÚKOSŮ GROOVE PREPARATION				OPRACOVÁNÍ MACHINING					
ZÁKLADNÍ MATERIÁL BASE METAL									
OZNAČENÍ SPECIFICATION 1.4541 k to				SKUPINA MATERIÁLŮ BASE METAL GROUP CR ISO 15608 8.1 k 8.1 to					
ROZSAH TLOUŠTĚK ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU BASE METAL THICKNESS RANGE									
ÚKOSOVÝ SVAR GROOVE WELD NA [mm]		KOUTOVÝ SVAR FILLET WELD 0,4 ÷ 2,0 [mm]		ROZSAH PRŮMĚRŮ DIAMETER RANGE 60 [mm]					
PŘIDAVNÝ MATERIÁL FILLER MATERIAL									
OBCHODNÍ OZNAČENÍ TRADE MARK	OZNAČENÍ PODLE SPECIFIKACE DENOMINATION ACC. TO SPECIFICATION	OZNAČENÍ SPECIFIKACE DENOMINATION OF SPECIFICATION	KOMBINACE DRÁT/TAVIDLO ELECTRODE/FLUX (CLASS)	F – Č. F – NO.	A – Č. A – NO.	REŽIM PŘESOUŠENÍ REBAKING PROCEDURE [°C / h]			
Bez přídavného materiálu / Without filler metal									
TYP DRÁTOVÉ ELEKTRODY TYPE OF WIRE ELECTRODE <input type="checkbox"/> PLNÁ SOLID <input type="checkbox"/> TRUBÍČKOVÁ FLUX CORED									
POLOHY SVAŘOVÁNÍ WELDING POSITIONS									
<input type="checkbox"/> ÚKOSOVÝ SVAR NA GROOVE WELD		<input checked="" type="checkbox"/> KOUTOVÝ SVAR PB FILLET WELD		SVISLÉ SVAŘOVÁNÍ VERTICAL WELDING <input type="checkbox"/> ZDOLA NAHORU NA <input type="checkbox"/> SHORA DOLŮ DOWNHILL					
IDENTIFIKACE ZAŘÍZENÍ EQUIPMENT IDENTIFICATION									
ZAŘÍZENÍ / EQUIPMENT: Vision Laser LWI IV									
TYP LASERU / TYPE OF LASER		Nd:YAG		DÉLKA PULZU / PULSE LENGHT		0,5÷20ms			
ZDROJ LASERU / POWER OF LASER		Lampa F243 / Lamp F243		FREKVENCE OPAKOVÁNÍ / FREQUENCY REPETITION		Jednotlivé impulzy do 20Hz / Individual pulses within 20Hz			
VLNOVÁ DÉLKA / WAVE LENGHT		1064 nm		SYSTÉM VYCHÝLOVÁNÍ SVAZKU BUNDLE DELECTION SYSTEM		Zrcadlový / Mirror			
DRUH PROVOZU / MODE OF OPERATION		Pulzní laserový systém / Pulse laser system		REGULACE ENERGIE / ENERGY REGULATION		Pulzně šířkový modulátor PWM v rozsahu 1 ÷ 100% / Pulse modulátor PWM in the range 1÷100%			
MAX. STŘEDNÍ VÝKON / MAX. MEDIUM OUTPUT		200W		FORMOVÁNÍ PULZU / PULSE SHAPING		Volně programovatelné / Freely programmable			
MAX. IMPULZNÍ ENERGIE / MAX. PULSE ENRGY		100J		SYTÉM MĚŘENÍ ENERGIE / ENERGY MEASUREMENT SYSTEM		Integrované / Integrated			
MAX. IMPULZNÍ VÝKON / MAX. PULSE OUTPUT		10kW		MIKROSKOP / MICROSCOPE		Leica Top s okulem 20x / Leica Top with ocular 20x			
OHNISKOVÁ VZDÁLENOST / FOCAL LENGHT		190mm		CHLAZENÍ / COOLING		Výměník typu voda/voda / Heatexchanger of type water/water			
PRŮMĚR BODU / POINT DIAMETER		200µm ÷ 2,5mm		NAPÁJENÍ / POWER SOURCE		380 Volt / 50/60Hz / 8kW			

DIPLOMOVÁ PRÁCE

 VUT BRNO		WPS		SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		ČÍSLO NUMBER 01/2013	REV. REV. 0	STRANA PAGE 2	Z OF 2
PŘÍPRAVA / PREPARATION			Odmaštění dílců technickým benzínem / Sestavení a polohování pomocí přípravku Degreasing of parts by technical gasoline / Assembly of parts by positioner						
			STĚHOVACÍ VRSTVA TACK LAYER	SVAŘOVACÍ VRSTVA WELDING LAYER	KOSMETICKÁ VRSTVA COSMETIC LAYER				
POLOHA SVAŘOVÁNÍ / WELDING POSITION			PB	PB	PB				
VÝKON SVAZKU / BUNDLE POWER									
KONTINUÁLNÍ / CONTINUOUS			-	-	-				
PULZNÍ PARAMETRY / PULSE PARAMETER	ŠPIČKOVÝ VÝKON / PEAK POWER		150W	150W	150W				
	ENERGIE / ENERGIE		80J	80J	80J				
	FREKVENCE / FREQUENCY		11Hz	11Hz	11Hz				
	DĚLKA / LENGHT		6ms	6ms	6ms				
	TVAR / FORM		-	-	-				
DETAIL ZMĚNY VÝKONU / DETAIL OF CHANGE IN POWER	NABĚH / START-UP		-	-	-				
	PŘEKRYTÍ / OVERLAP		0,5mm	0,5mm	0,5mm				
	SNÍŽOVÁNÍ / REDUCTION		1mm	1mm	1mm				
	PROFIL ZMĚNY / SHAPE OF CHANGE		-	-	-				
OSCILACE / OSCILLATION	VZOR / SAMPLE		-	-	-				
	AMPLITUDA / AMPLITUDE		-	-	-				
	FRAKVENCE / FREQUENCY		-	-	-				
	ČAS PRODLEVY / TIME DELAY		-	-	-				
ÚHEL VÝCHYL. SVAZKU / ANGLE OF BUNDLE DEFLEC- TION	PODÉLNÝ / LONGITUDINAL		-	-	-				
	PŘÍČNÝ / TRANSVERSE		-	-	-				
	(PLOCHA / AREA)		-	-	-				
RYCHLOST POHYBU / SPEED			0,07m/min	0,07m/min	0,07m/min				
ZRYCHLENÍ, ZPOMALENÍ / ACCELERATION, DECELERATION			-	-	-				
PLYN K ODSTRANĚNÍ PLAZMY GAS FOR PLASMA REMOVAL		KLASIFIKACE A TYP / KLASIFICATION AND TYPE	-	-	-				
		PRŮTOK / FLOW	-	-	-				
OCHRANNÝ PLYN / SHIELDING GAS		KLASIFIKACE A TYP / KLASIFICATION AND TYPE	EN ISO 14175- II	EN ISO 14175- II	EN ISO 14175- II				
		PRŮTOK / FLOW	0,5+1 l/min	0,5+1 l/min	0,5+1 l/min				
PRACOVNÍ VZDÁLENOST / WORKING DISTANCE			190mm	190mm	190mm				
TRYSKA OCHRANNÉHO PLYNU / SHIELDING GAS NOZZLE		POLOHA / POSITION	12mm	12mm	12mm				
		PRŮMĚR / DIAMETER	3,8mm	3,8mm	3,8mm				
		ORIENTACE / ORIENTATION	70° k rovině svařování 70° to the welding plane	70° k rovině svařování 70° to the welding plane	70° k rovině svařování 70° to the welding plane				
PŘEDEHŘEV / PREHEATING			-						
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ / P.W.H.T.			-						
OPERACE PO SVAŘOVÁNÍ / OPERATIONS AFTER WELDING			očistění / cleaning	očistění / cleaning	očistění / cleaning				
JINÉ / OTHERS									
REVIZE	VYPRACOVAL - PREPARED BY			SCHVÁLIL - APPROVED BY					
REVISION	DATUM - DATE	JMÉNO - NAME	PODPIS - SIGNATURE	DATUM - DATE	JMÉNO - NAME	PODPIS - SIGNATURE			
0	16.05.2013	Bc.Kloboučník		16.05.2013	Ing.Kubiček				
1									
2									